

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย



นายโชติวิรัช จิราตระกาลกิตติ
นางสาววรรณนันทน์ สมัครคำ

มพ.
๒๕๔๖ ก
๒๒๕

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **62318**
วัน,เดือน,ปี - 8 ส.ค. 2549

b..... 1162023x
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2548
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wireless Data Logger



Mr.Chotiwit Jiratrakarnkitt
MissWoranan Samakkha

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of
Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Academic Year 2005
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

เครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย

นักศึกษา

นาย โชติวิทย์ จิราตระกาลกิตตน์

นางสาววรรณันท์ สมัครคำ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

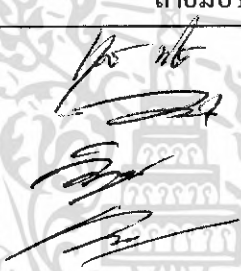
สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.เบญจพล ต้นธุ์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ.ทศยาภรณ์ ทิววงศ์	
กรรมการ	รศ.วิษณุ เพชรภา	
กรรมการ	อ.วิฑูรย์ ยินดีสุข	
กรรมการที่ปรึกษา	อ.เบญจพล ต้นธุ์	

.....
(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	เครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย	
นักศึกษา	นายโชติวิรัช จิราตระกาลกิตตน์	
	นางสาวรณันท์ สมัครคำ	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2548	
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.เบญจพล ต้นสู	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการรับส่งและบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย โดยใช้ชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุในย่านความถี่ 418 MHz ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) ส่วนที่สองจะใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดงผล (Server) โดยส่วนที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) ประกอบด้วยชุดวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ, ชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ, ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ และส่วนที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแสดงผล (Server) ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ, คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผล, ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งข้อมูลและบันทึกข้อมูล

Special Project Title Wireless Data Logger

Name Mr.Chotiwit Jiratrakarnkitt
 MissWoranan Samakkha

Department Applied Physics

Program Applied Physics - Science and Industry Instrumentation

Academic Year 2005

Special Project Advisor Mr.Benchapol Tunhoo

ABSTRACT

This special project has developed a device using for storing and transferring data between client and server through wireless communication by using radio frequency (RF) modules, which operates at 418 MHz. Wireless data logger consists of 2 parts; client and server unit. The main function of the client unit is temperature measurement and data transfer to server unit. A designed client consists of a temperature sensor circuit board, RF modules, and microcontroller circuit board which controls the operation of client unit. The second part of wireless data logger is a server. It is stores data and interfaced with computer for displays data received from temperature sensor via the radio frequency. A designed server consists of RF modules, computer for data display, and microcontroller circuit board that controls the communication between client and server.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ รวมทั้งกำลังใจที่ดีจากบุคคลดังต่อไปนี้

อ.เบญจพล ต้นอู๋ ที่กรุณาให้คำปรึกษาในทุกๆด้านและช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์
 รศ.วิจิต ศิริโชติ ที่กรุณาชี้แนะและให้คำปรึกษา
 รศ.วิษณุ เพชรภา ที่กรุณาชี้แนะข้อบกพร่องและแก้ไขบทคัดย่อ
 นายณรงกรณ์ เอื้อนสุภา ที่ช่วยเหลือในการทำงานทุกด้าน
 รวมทั้งคณะกรรมการตรวจสอบทุกท่านที่ช่วยชี้แนะและแก้ไขข้อบกพร่องในโครงการ
 พิเศษนี้

นาย โชติวิรัช จิราตระกาลกิตตัน์
 นางสาวรณันท์ สม์ครค้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)	3
2.2 เทคนิคการส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อกและแบบดิจิทัล	4
2.3 วิธีการในการแปลงสัญญาณ	4
2.3.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก (Analog-to-analog conversion)	4
2.3.2 การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล (Analog-to-digital conversion)	5
2.3.3 การแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก (Digital-to-analog conversion)	5
2.3.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude shift keying, ASK)	6
2.3.4 การแปลงสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล (Digital-to-digital conversion)	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 เปรียบเทียบการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกกับแบบดิจิทัล	8
2.5 วงจร Successive-Approximation ADC	8
2.6 หลักการทำงานของ Silicon IC Temperature Sensor	9
2.6.1 การทำงานของ LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย	12
3.2 ขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมเครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย	15
3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมที่ใช้ควบคุมชุดวงจรที่ใช้ ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server)	15
3.2.2 ขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมที่ใช้ควบคุม ชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้ โดยใช้ดิจิทัล เทอร์โมมิเตอร์กับอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์	17
4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลชุดที่ใช้ในการบันทึก ข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับได้จากชุดที่ ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)	20
4.3 การทดลองแสดงข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและ เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับได้จากชุดที่ใช้ในการ ตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์	22
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	27
บรรณานุกรม	28
ภาคผนวก	29

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ค่าความถี่ต่างๆ	3
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอนุกรมที่วัดได้โดยใช้ดิจิทัล เทอร์โมมิเตอร์กับอนุกรมที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์	17
ตารางที่ 3 การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ของค่าอนุกรมที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์	19
ตารางที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและ เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับได้ และข้อมูลที่ถูเก็บบันทึกไว้ที่ หน่วยความจำข้อมูล EEPROM เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ถูส่งออกจากชุด ที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงรูปแบบวิธีในการแปลงสัญญาณ	4
รูปที่ 2 แสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก	4
รูปที่ 3 แสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล	5
รูปที่ 4 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก	5
รูปที่ 5 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางแอมป์ลิทูด	7
รูปที่ 6 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล	7
รูปที่ 7 แสดงประเภทของการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล	7
รูปที่ 8 แสดงวงจร Successive-Approximation ADC	8
รูปที่ 9 แสดงวงจรการทำงานภายในของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35	10
รูปที่ 10 แสดงการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35 วัดค่าอุณหภูมิตั้งแต่ +2°C ถึง +150°C	11
รูปที่ 11 แสดงการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35 วัดค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0°C	11
รูปที่ 12 แสดงชุดวงจรที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)	12
รูปที่ 13 แสดงชุดวงจรที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server)	13
รูปที่ 14 แสดงการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย	14
รูปที่ 15 แสดงหน้าจอการทำงานหลักของชุดที่ใช้ในการ บันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server)	22
รูปที่ 16 แสดงค่าอุณหภูมิที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับได้	22
รูปที่ 17 แสดงข้อมูลที่อยู่ภายในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 000 ถึง 019	23
รูปที่ 18 แสดงการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 020 ถึง 030	24
รูปที่ 19 แสดงการเขียนค่า 15 ลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 1000 ถึง 1015 และอ่านข้อมูลออกมา	25
รูปที่ 20 แสดงการเขียนค่า FF ลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 070 ถึง 075	26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการสื่อสารได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้วิธีการสื่อสารข้อมูลสามารถทำได้หลายรูปแบบ ซึ่งวิธีการสื่อสารโดยใช้คลื่นวิทยุก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้หลายรูปแบบ อีกทั้งในปัจจุบันมนุษย์ต้องการความสะดวกสบายในการดำเนินชีวิตมากขึ้น ทำให้รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายได้รับความนิยมมากขึ้นไปด้วย วิธีการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านทางคลื่นวิทยุ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการรับส่งข้อมูลที่ต้องการให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกสบายในการใช้งาน ในโครงการพิเศษฉบับนี้จะเป็นการสร้างต้นแบบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ แล้วทำการส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ เพื่อบันทึกและแสดงผลยังคอมพิวเตอร์ ซึ่งวิธีดังกล่าวจะช่วยลดความยุ่งยากในการเก็บข้อมูลที่ต้องส่งข้อมูลกลับมายังส่วนที่ใช้บันทึกข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของการรับส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ
2. เพื่อสร้างชุดทดลองที่มีการรับข้อมูลจากเซนเซอร์แล้วส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุไปยังชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลที่ติดตั้งอยู่กับคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการบันทึกข้อมูลและแสดงข้อมูลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์
3. เพื่อศึกษาและออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมและติดต่อสื่อสารระหว่างชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

สร้างชุดทดลองที่มีการรับข้อมูลจากเซนเซอร์แล้วใช้ชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการบันทึกข้อมูลที่วัดได้จากเซนเซอร์และแสดงข้อมูลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51ED2

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการทำงานของการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ
2. ศึกษาการทำงานของชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ
3. สร้างชุดทดลองเพื่อศึกษาการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ
4. ออกแบบโปรแกรมที่ใช้ควบคุมและติดต่อสื่อสารระหว่างชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ
5. ทดลองการรับส่งข้อมูลระหว่างชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงข้อมูล
6. ทดลองใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงข้อมูล
7. ทดลองการใช้งานโดยให้เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิแล้วส่งข้อมูลไปยังชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลที่ติดตั้งอยู่กับคอมพิวเตอร์ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลและแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ในเรื่องการสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ
2. ได้ศึกษาถึงหลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ได้เรียนรู้การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ในการรับส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ
4. ได้ต้นแบบอุปกรณ์สำหรับใช้ตรวจวัดอุณหภูมิที่สามารถส่งข้อมูลไปเก็บบันทึกและแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านทางคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)

ในการส่งข้อมูลแบบไร้สายนั้นจะมีรูปแบบของพาหะที่เราจะใช้ในการสื่อสารอยู่ 2 แบบคือ

1. ระบบที่ใช้คลื่นวิทยุเป็นพาหะ (Radio Carrier) ได้แก่ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่, ระบบวิทยุติดตามตัว, ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม, ระบบวิทยุกระจายเสียง และระบบคลื่นไมโครเวฟ
 2. ระบบที่ใช้คลื่นแสงเป็นพาหะ (Light Carrier) ได้แก่ ระบบสื่อสารข้อมูลผ่านแสงอินฟราเรดที่นำไปประยุกต์ใช้ในระบบ LAN, ระบบสื่อสารผ่านแสงเลเซอร์อินฟราเรด
- เนื่องจากตัวกลางทั้ง 2 ชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงต้องมีการอธิบายถึงความถี่ต่างๆของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในระบบสื่อสาร

ความถี่ (Frequency) หมายถึง จำนวนรอบของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใดๆ ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยหน่วยของการวัดมีค่าเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) ส่วนประกอบของสัญญาณความถี่ก็จะมีความถี่ของสัญญาณหรือที่เรียกว่า แอมพลิจูด (Amplitude) และความยาวของคลื่นที่เรียกว่า แลมด้า ตารางที่ 1 แถบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ค่าความถี่ต่างๆ

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น	การใช้งาน
Very Low Frequency (VLF)	< 30 kHz	> 10 km	ใช้สื่อสารทางทะเล
Low Frequency (LF)	30 - 300 kHz	1- 10 km	ใช้สื่อสารทางทะเล
Medium Frequency (MF)	0.3-3 MHz	0.1-1 km	ใช้ส่งคลื่นวิทยุระบบ AM
High Frequency (HF)	3-30 MHz	10-100 m	ใช้ส่งวิทยุคลื่นสั้น สื่อสารระหว่างประเทศ
Very High Frequency (VHF)	30-300 MHz	1-10 m	ใช้ส่งคลื่นวิทยุระบบ FM และคลื่นโทรทัศน์
Ultra High Frequency (UHF)	0.3-3 GHz	10-100 cm	ใช้ส่งคลื่นโทรทัศน์และ ไมโครเวฟ
Super High Frequency (SHF)	3-30 GHz	1-10 cm	ใช้ส่งไมโครเวฟและ เรดาร์
Extremely High Frequency (EHF)	30-300 GHz	1-10 mm	ใช้ส่งไมโครเวฟ

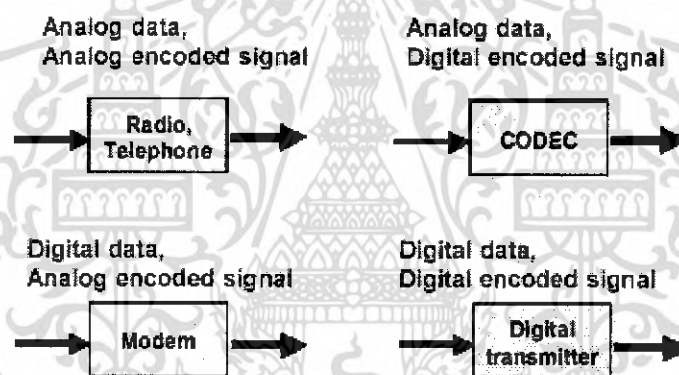
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทคนิคการส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อกและแบบดิจิทัล

ในการส่งสัญญาณข้อมูลหรือข่าวสารใด ๆ ก็ตาม เราสามารถส่งได้ใน 2 ลักษณะ คือ

- การส่งสัญญาณแบบอนาล็อก ซึ่งใช้ค่าต่อเนื่องของความต่างศักย์ไฟฟ้าบนช่องสัญญาณแทนข้อมูล เช่น การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์อนาล็อก ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกไปนั้นมีความต่อเนื่องกันตลอดเวลา เช่น สัญญาณเสียง
- การส่งสัญญาณแบบดิจิทัล ซึ่งใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงหรือต่ำบนช่องสัญญาณแทนข้อมูล คือการส่งสัญญาณข้อมูลที่มีแค่ “ON/OFF” หรือเป็นแบบเลขไบนารี (Binary)

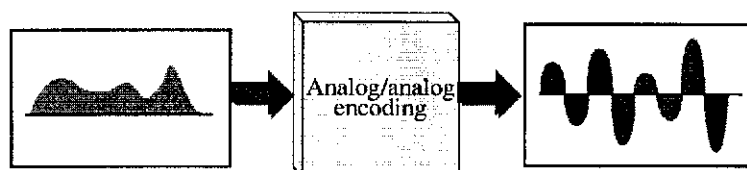
2.3 วิธีการในการแปลงสัญญาณ สามารถทำได้ 4 รูปแบบคือ



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบวิธีการในการแปลงสัญญาณ

2.3.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก (Analog-to-analog conversion)

จะใช้หลักการ Modulation ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงคลื่นสัญญาณพาหะ (Carrier signal) ให้สอดคล้องกับคลื่นสัญญาณข้อมูลที่มีความถี่ต่ำกว่า ตัวอย่างของวิธีการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก เช่น การมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation, AM), การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation, FM), การมอดูเลตทางเฟส (Phase Modulation, PM)

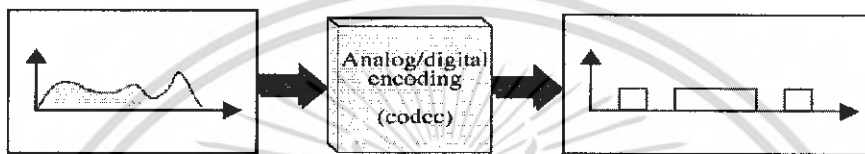


รูปที่ 2 แสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล (Analog-to-digital conversion)

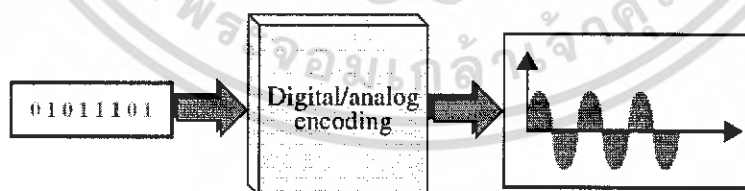
ในการส่งสัญญาณที่เป็น Analog ผ่านเข้าไปในระบบเครือข่าย Digital จะต้องทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเสียก่อน โดยอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า CODEC (Coder / DECoder) เป็นตัวแปลงสัญญาณ ตัวอย่างของวิธีการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล เช่น การมอดูเลตทางแอมพลิจูดของพัลส์ (Pulse Amplitude Modulation, PAM), การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (Pulse Code Modulation, PCM)



รูปที่ 3 แสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล

2.3.3 การแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก (Digital-to-analog conversion)

ในการส่งสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านช่องทางสื่อสารของอนาล็อกที่คุ้นเคยกัน ได้แก่ การส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกย่านความถี่เสียงที่เรียกว่า MODEM: Modulator-DEModulator) ตัวอย่างของวิธีการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก เช่น การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude shift keying, ASK), การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying, FSK), การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying, PSK), Quadrature amplitude modulation (QAM)



รูปที่ 4 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก

Baud rate เป็นอัตราส่วนที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่เกิดขึ้นในเวลา 1 วินาที

Bit rate (bit per second , bps) เป็นอัตราส่วนที่แสดงถึงปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านไปได้ในเวลา 1

วินาที โดย Bit rate จะมีค่าเท่ากับ Baud rate (Signal/sec) x จำนวนบิตใน 1 Baud

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude shift keying, ASK)

หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งได้ว่า On-Off Keying หรือ OOK วิธีการนี้จะให้สัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่มีค่าเป็น 0 และ 1 แทนด้วยแอมพลิจูด 2 ระดับที่ต่างกัน และความถี่ของคลื่นสัญญาณพาหะ (Carrier signal) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณ ASK ที่ได้จะมีขนาดของคลื่นสัญญาณพาหะสูงขึ้นกว่าปกติ เมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น “1” และมีขนาดของคลื่นสัญญาณพาหะตกลงกว่าปกติ เมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น “0” ข้อเสียของวิธีการนี้คือ จะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

ในการพิจารณาแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่มีการมอดูเลตแบบ ASK นี้ จะทำได้แบบเดียวกับสัญญาณ AM โดยทั่วไปกล่าวคือสเปกตรัมของสัญญาณ ASK จะได้จากการเคลื่อนย้ายสเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์ไปอยู่สองข้างของสเปกตรัมของสัญญาณคลื่นพาหะเช่นเดียวกับในกรณีของสัญญาณ AM และเนื่องสัญญาณเบสแบนด์ที่ทำการส่งมีลักษณะเป็นสัญญาณแรนคอม เพราะฉะนั้นการหาสเปกตรัมของสัญญาณนี้ จะต้องอาศัยหลักการหาสเปกตรัมของสัญญาณแรนคอม ในกรณีของสัญญาณยูนิโพลาร์ NRZ 2 ระดับนั้น สัญญาณในโดเมนของเวลาและในโดเมนของความถี่จะเขียนได้ดังนี้

$$x(t) = \sum_k a_k p(t-kD) \quad (1)$$

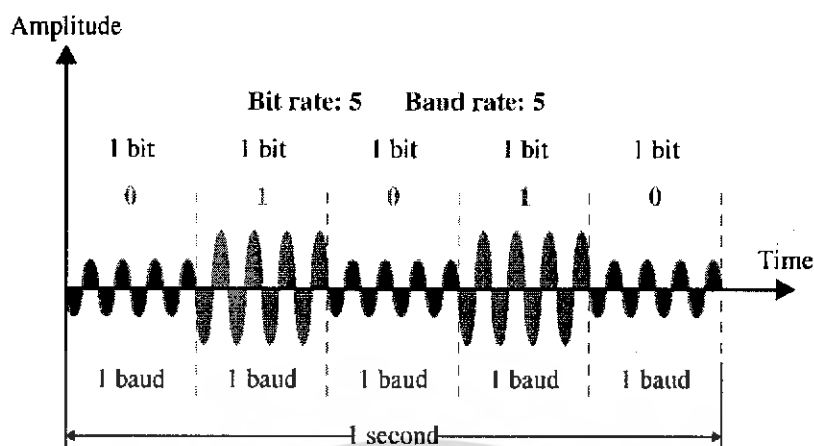
$$|X(f)|^2 = \frac{1}{4R} \text{sinc}^2(\pi fD) + \frac{1}{4} d(f) \quad (2)$$

โดยที่ a_k เป็น 1 และ 0 เมื่อสัญญาณดิจิทัลเป็น 1 และ 0 ตามลำดับ และ $R=1/D$ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ ดังนั้นสัญญาณ OOK ในโดเมนของเวลาและในโดเมนของความถี่จะเขียนได้ดังนี้

$$x_c(t) = x(t) A_c \cos \omega_c t \quad (3)$$

$$G(f) = \frac{A_c^2}{4} |X(f-f_c)|^2 + \frac{A_c^2}{4} |X(f+f_c)|^2 \quad (4)$$

ในการพิจารณาแบนด์วิดท์ที่ต้องการนั้น จากสมการที่ 2 จะเห็นได้ว่ากำลังงานของสัญญาณส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในช่วง $f_c \pm R/2$ และการลดต่ำลงของความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังจะแปรผกผันกับ $|f-f_c|^2$ ดังนั้นสามารถอนุมานให้แบนด์วิดท์ที่ต้องการ $B_T \gg R$ ได้ จากผลดังกล่าว จะได้ประสิทธิภาพของการใช้แบนด์วิดท์ในกรณีนี้เป็น 1 bps/Hz



รูปที่ 5 แสดงการมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด

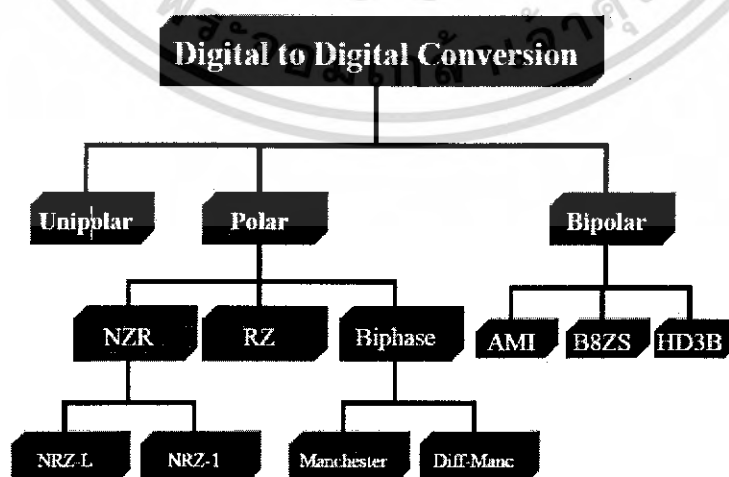
2.3.4 การแปลงสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล (Digital-to-digital conversion)

เป็นการเปลี่ยนข้อมูลในระดับบิตไปเป็นสัญญาณดิจิทัล เช่น ในการส่งข้อมูลจาก Computer ไป Printer ทำโดยการเอาบิต 1 และ 0 มาใส่พลังงานไฟฟ้า (Voltage) แล้วกระจายลงในสายสัญญาณให้เป็น pulse



รูปที่ 6 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล

รูปแบบของการแปลงสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัลมีดังนี้



รูปที่ 7 แสดงประเภทของการแปลงสัญญาณดิจิทัลให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เปรียบเทียบการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกกับแบบดิจิทัล

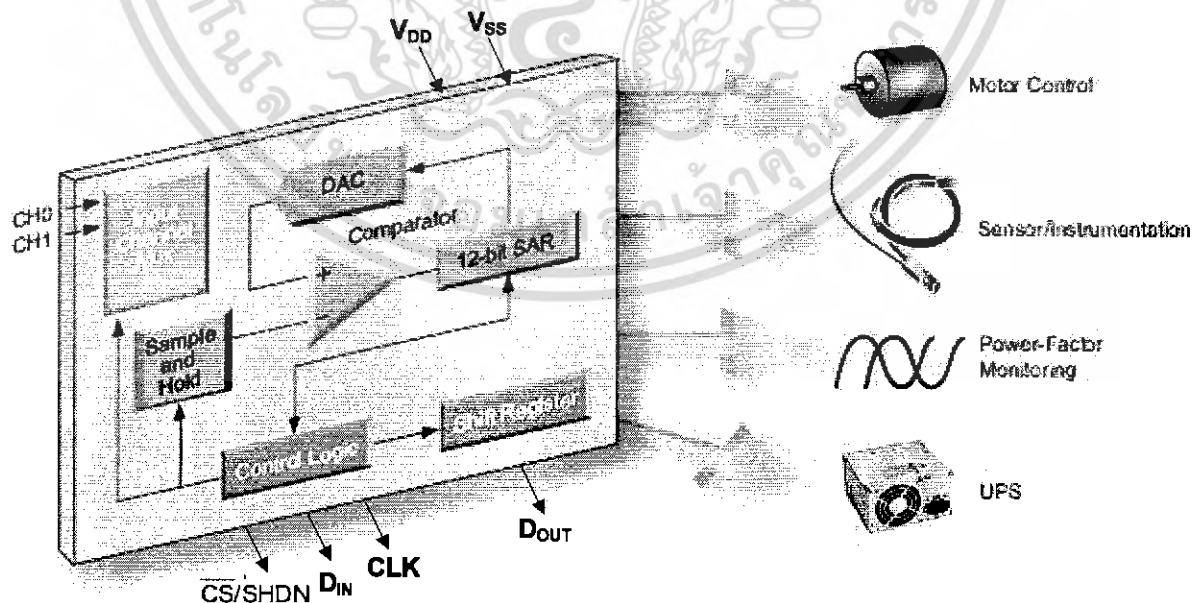
1. **สัญญาณรบกวน** ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกจะถูก “ขยาย” เมื่อสัญญาณถูกขยาย แต่แบบดิจิทัลจะเป็นการ “ทบทวน” สัญญาณใหม่ให้กลับเหมือนเดิม ดังนั้นการส่งแบบดิจิทัลจึงดีกว่าการส่งแบบอนาล็อก

2. **การมัลติเพล็กซ์** การส่งสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง โดยผ่านตัวกลางสายส่งเดียวกัน เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เพียงแต่ต้องมีเทคนิคที่เรียกว่า “การมัลติเพล็กซ์” (Multiplex) และ “การดีมัลติเพล็กซ์” (Demultiplex) เพื่อแยกแต่ละสัญญาณออกจากกันเมื่อสัญญาณทั้งหมดถึงปลายทาง ค่าใช้จ่ายในการมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณในการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกนั้นแพงกว่าที่ใช้ในการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลมาก

3. **ความเร็ว** ในการส่งสัญญาณข้อมูลแบบดิจิทัลสามารถทำได้เร็วกว่า และส่งได้มากกว่าแบบอนาล็อก

2.5 วงจร Successive-Approximation ADC

วงจร Successive-Approximation ADC เป็นวงจร ADC ที่ใช้กันแพร่หลายวงจรหนึ่ง เนื่องจากส่งสัญญาณได้เร็วกว่าแบบอื่นๆ ยกเว้นแบบ Flash ADC วงจร Successive-Approximation ADC ประกอบด้วย ADC, Successive-Approximation register (SAR) และวงจรเปรียบเทียบ



รูปที่ 8 แสดงวงจร Successive-Approximation ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจะทำงานโดยทำให้บิตภายในของ SAR เป็นลอจิก 1 ทีละบิต โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดก่อน และค่าของบิตต่างๆใน SAR จะถูกส่งไปยัง DAC เพื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก ทุกๆครั้งที่แต่ละบิตถูกกำหนดให้เป็นลอจิก 1 ตัวเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบเอาต์พุตของ DAC ว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอนาล็อกที่อินพุต ถ้าเอาต์พุตของ DAC มีค่ามากกว่าสัญญาณอนาล็อกที่อินพุต เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบจะเป็นลอจิก 0 เป็นผลให้บิตนั้นๆใน SAR ถูกรีเซ็ตเป็น 0 แต่ถ้าเอาต์พุตของ DAC มีค่าน้อยกว่าสัญญาณอนาล็อกที่อินพุต เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบจะเป็นลอจิก 1 เป็นผลให้บิตนั้นๆคงสถานะเป็น 1 ไว้ จากนั้นจะทำการทดสอบบิตที่มีนัยสำคัญรองๆลงไปทีละบิต โดยกำหนดให้บิตนั้นเป็นลอจิก 1 ถ้าเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบเป็นลอจิก 1 ก็จะคงสถานะ 1 ของบิตนั้นๆใน SAR ไว้ แต่ถ้าเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบเป็นลอจิก 0 ก็จะรีเซ็ตให้บิตนั้นๆใน SAR เป็นลอจิก 0 ทำเช่นนี้จนครบทุกบิต หลังจากครบทุกบิตแล้ว รหัสดิจิตอลใน SAR จะแทนสัญญาณอนาล็อกที่อินพุต

2.6 หลักการทำงานของ Silicon IC Temperature Sensor

Silicon IC Temperature Sensor แตกต่างจากเซนเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิชนิดอื่นๆตรงที่ภายในมีลักษณะเป็นแผงวงจรรวม (Integrated Circuit) ดังนั้นจึงทำให้สามารถบรรจุวงจรที่ใช้ในการประมวลผลสัญญาณขนาดใหญ่ลงไปในตัวเซนเซอร์ได้ การวัดค่าอุณหภูมิจะอาศัยความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขาเบสและขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$V_F = \frac{kT_A}{q} \ln\left(\frac{I_F}{I_S}\right); I_F \gg I_S \quad (5)$$

โดยที่	k	=	Boltzmann's Constant (1.3807×10^{-23} J/K)
	q	=	Electric Charge (1.602×10^{-19} coulombs)
	T_A	=	อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม
	I_F	=	Forward Current
	I_S	=	Saturation Current

และ ΔV_F หรือ Voltage Proportional to Absolute Temperature (V_{PTAT}) มีค่าดังสมการ

$$\Delta V_F = V_{F1} - V_{F2}$$

$$\Delta V_F = \frac{kT_A}{q} \cdot \ln \left[\frac{\frac{I_{F1}}{I_S}}{\frac{N \cdot I_{F1}}{I_S}} \right]$$

$$\Delta V_F = \frac{kT_A}{q} \cdot \ln(N)$$

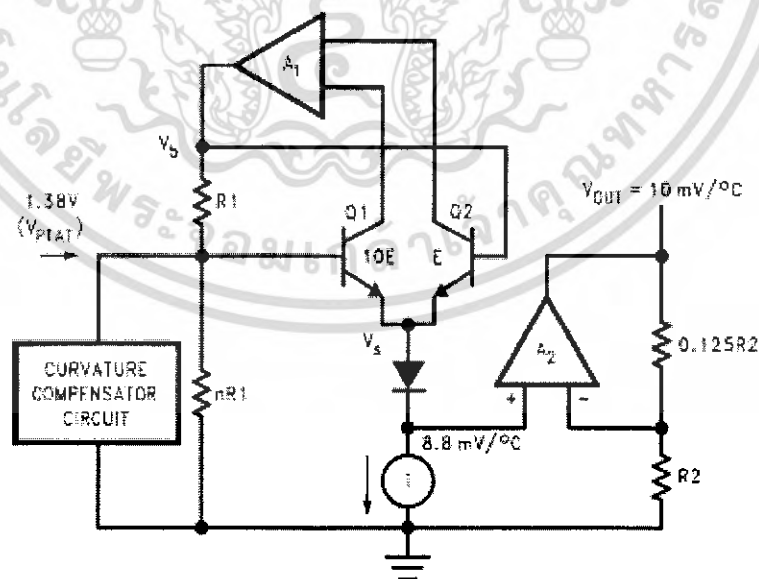
$$\Delta V_F = V_{PTAT}$$

(6)

โดยที่ V_F = Forward Voltage
 I_F = Forward Current
 V_{PTAT} = Voltage Proportional to Absolute Temperature

2.6.1 การทำงานของ LM35 Precision Centigrade Temperature Sensor

LM35 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด Analog Temperature Sensor ที่ให้เอาต์พุตออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ทำงานเหมือนเป็น two terminal zener diode และมีค่าแรงดันไฟฟ้าสัมพันธ์กับอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้น 1°C เมื่อค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 10.0 mV ลักษณะวงจรการทำงานภายในของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35 แสดงดังรูป

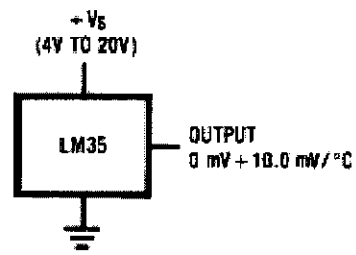


รูปที่ 9 แสดงวงจรการทำงานภายในของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35

การใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35 สำหรับวัดค่าอุณหภูมิตั้งแต่ $+2^\circ\text{C}$ ถึง $+15^\circ\text{C}$ มีรูปแบบ

การต่อใช้งานดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

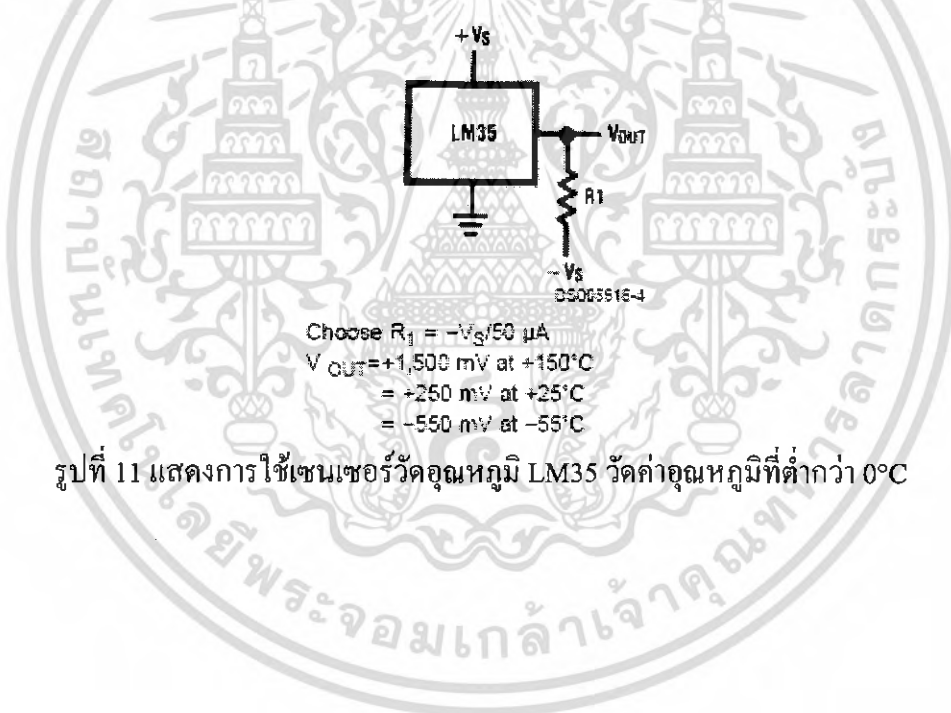


รูปที่ 10 แสดงการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35 วัดค่าอุณหภูมิตั้งแต่ $+2^{\circ}\text{C}$ ถึง $+150^{\circ}\text{C}$

สำหรับการวัดค่าอุณหภูมิที่มีค่าต่ำกว่า 0°C จะต้องต่อตัวต้านทานเพิ่มเติมที่ขา V_{out} ของ LM35 โดยค่าของตัวต้านทานคำนวณได้จากสมการ

$$R_1 = \frac{-V_s}{50\mu\text{A}} \quad (7)$$

มีรูปแบบการใช้งานดังรูป



รูปที่ 11 แสดงการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ LM35 วัดค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

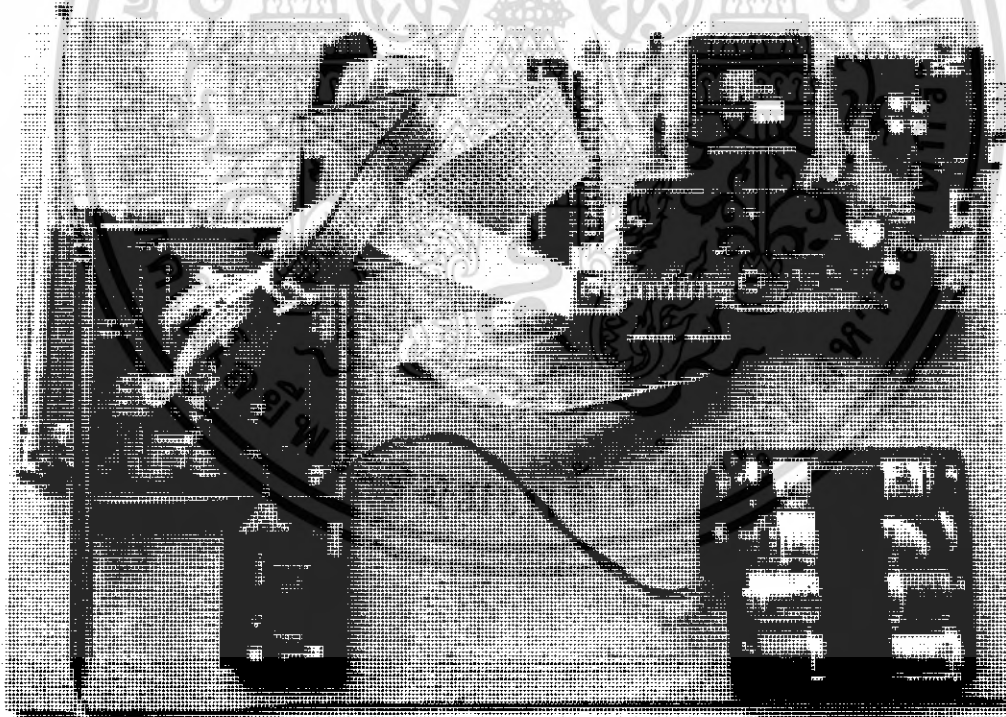
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย

เครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย ประกอบด้วยชุดการทำงาน 2 ชุด คือ

- ชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) ประกอบด้วย

- ชุดวงจรเซนเซอร์ ซึ่งใช้ตรวจวัดอุณหภูมิแล้วส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์
- ชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ
- ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์และการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ

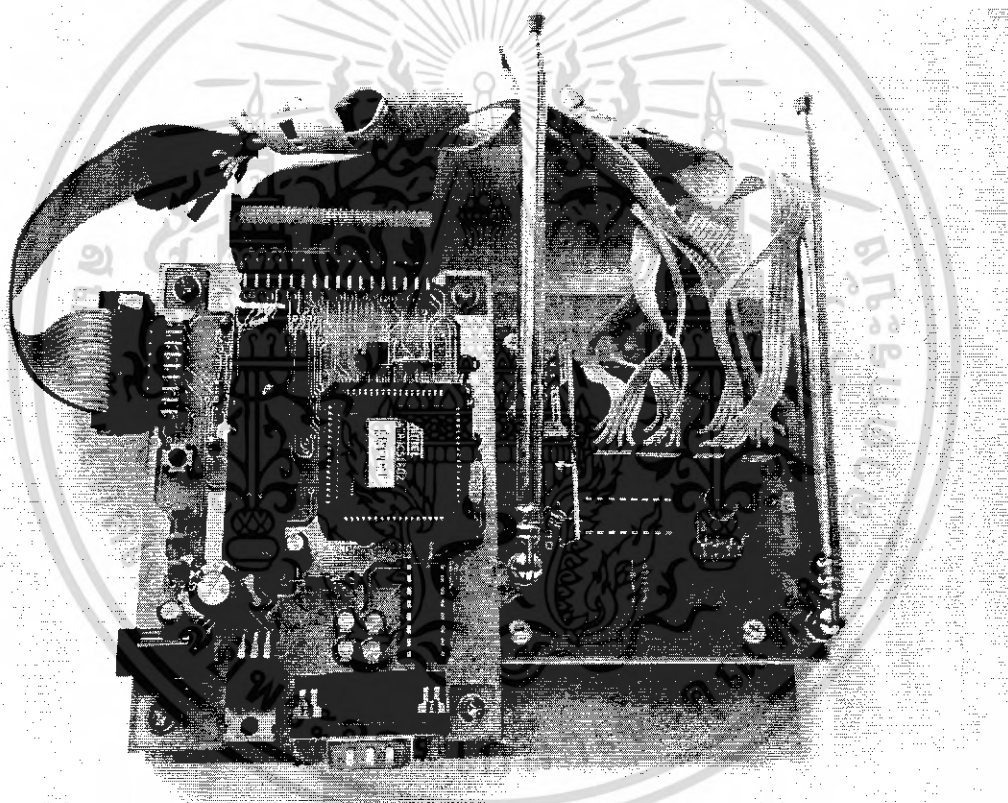


รูปที่ 12 แสดงชุดวงจรที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) ประกอบด้วย

- ชุดอุปกรณ์รับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ
- คอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้แสดงค่าอุณหภูมิที่ได้รับจากเซนเซอร์ผ่านทางคลื่นวิทยุ
- ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ควบคุมการบันทึกข้อมูลและการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51ED2 จะมีหน่วยความจำข้อมูล EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read-Only Memory) ความจุ 2 KBytes ซึ่งมีแอดเดรสตั้งแต่ 0000H ถึง 07FFH ทำหน้าที่บันทึกค่าอุณหภูมิที่ได้รับจากเซนเซอร์

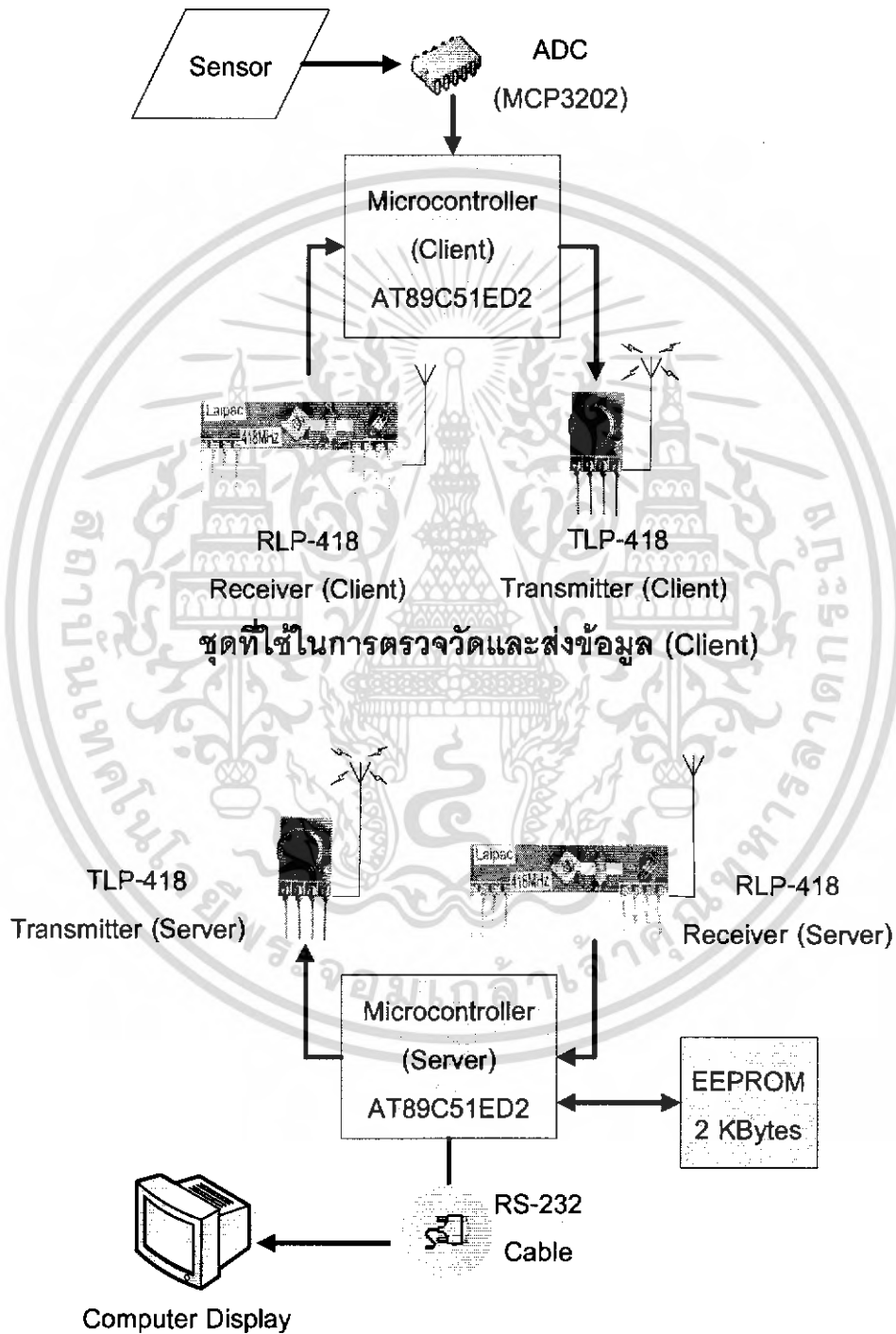


รูปที่ 13 แสดงชุดวงจรที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server)

ชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) จะทำการแปลงสัญญาณข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51ED2 ควบคุมการรับ-ส่งสัญญาณข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางคลื่นวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) จะส่งคำสั่งไปยังชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) เพื่อสั่งให้ส่งค่าอุณหภูมิมาให้ จากนั้นทำการแสดงข้อมูลที่ได้รับผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์และบันทึกข้อมูลที่รับลงไปยังหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ซึ่งอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51ED2



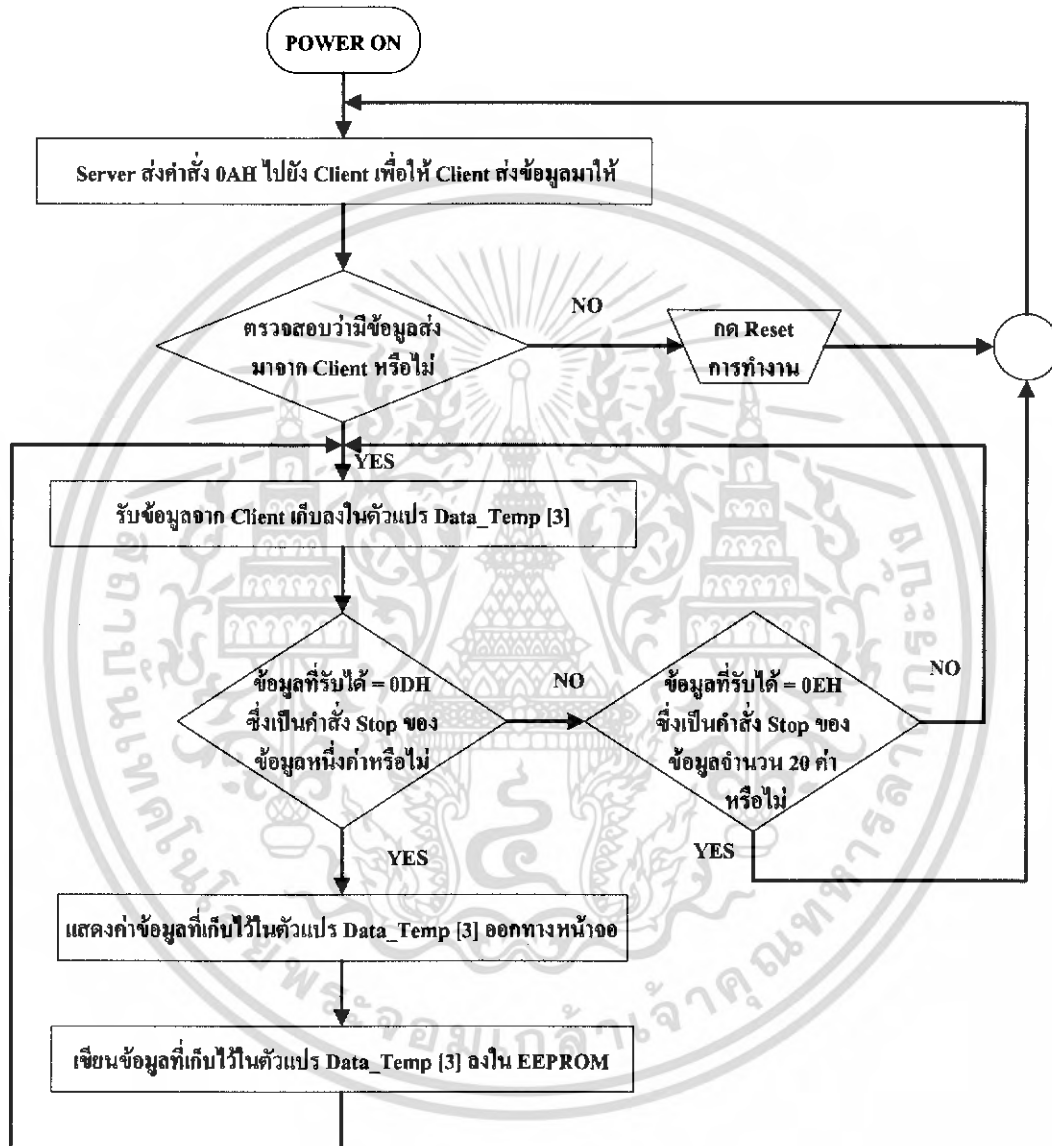
ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server)

รูปที่ 14 แสดงการทำงานของเครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

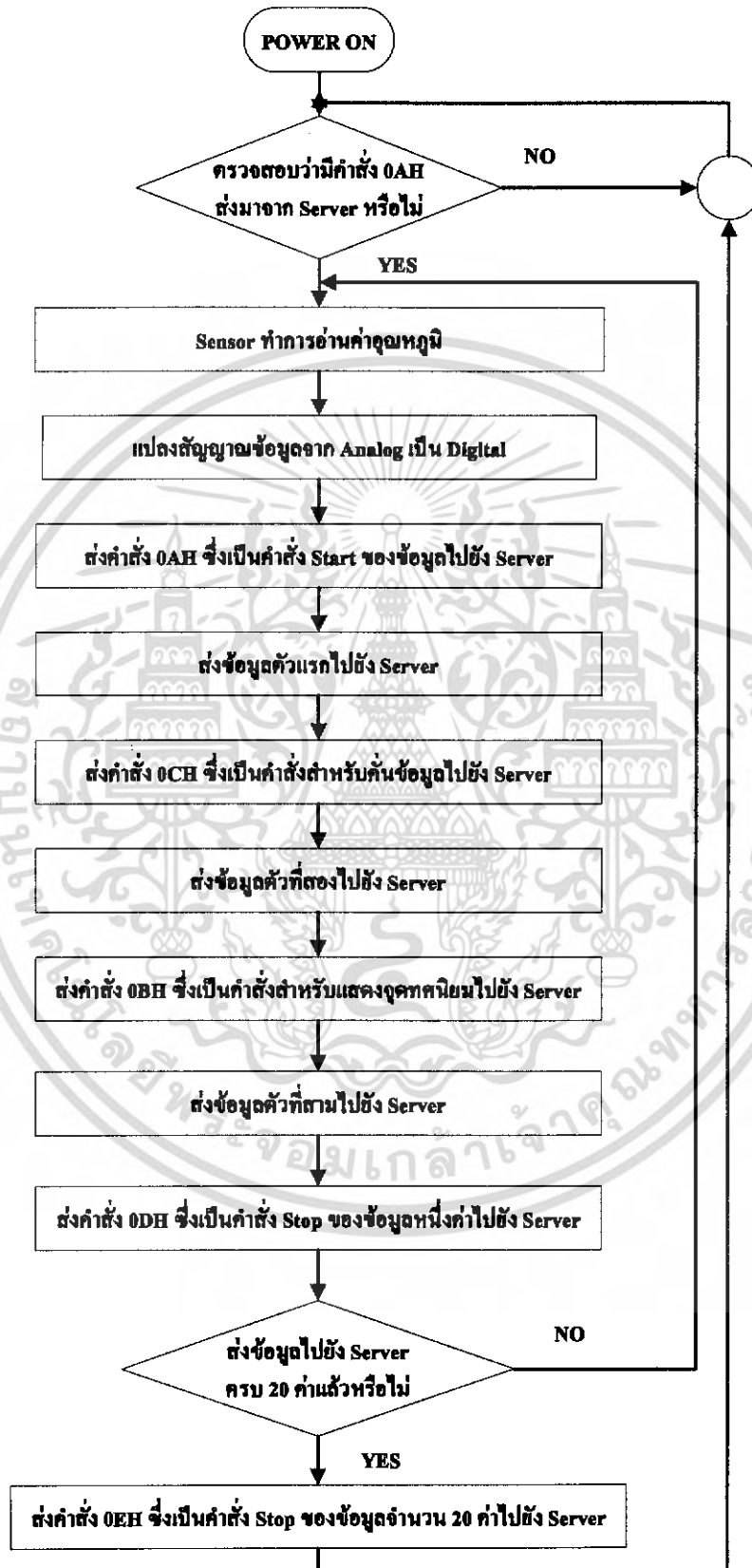
3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมเครื่องบันทึกข้อมูลแบบไร้สาย

3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมชุดวงจรที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์

ตอนที่ 1 ทดลองให้ความร้อนแก่เซนเซอร์และดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ จากนั้นอ่านค่าจากเซนเซอร์จำนวน 40 ค่า แล้วแปลงสัญญาณข้อมูลจากสัญญาณที่เป็นอนาลอกให้กลายเป็นสัญญาณดิจิตอล เมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์

ครั้งที่	อุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ เซนเซอร์ (°C)
1	45.4	45.6
2	43.0	43.9
3	41.2	41.8
4	40.2	40.9
5	40.2	39.8
6	40.0	39.7
7	39.5	39.6
8	39.3	39.2
9	39.2	39.2
10	39.0	39.1
11	38.7	39.0
12	38.5	38.8
13	38.3	38.8
14	38.3	38.5
15	38.2	38.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์ (ต่อ)

ครั้งที่	อุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (°C)	อุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ เซนเซอร์ (°C)
16	37.8	38.4
17	37.7	38.2
18	37.5	38.1
19	37.0	37.6
20	36.6	36.5
21	36.1	36.4
22	35.3	36.0
23	35.3	35.7
24	35.2	35.1
25	35.0	34.6
26	34.5	33.8
27	34.5	33.2
28	33.2	33.1
29	33.0	32.9
30	32.9	32.8
31	32.7	32.7
32	32.5	32.6
33	32.4	32.5
34	32.3	32.5
35	32.3	32.4
36	32.3	32.2
37	32.2	32.2
38	32.2	32.1
39	31.7	32.0
40	31.7	31.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์กับอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์จะมีค่าต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์มีความไวในการอ่านค่ามากกว่าเซนเซอร์ ดังนั้นเมื่อใช้การอ่านค่าด้วยสายตา จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้เล็กน้อย

ตอนที่ 2 ทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์ โดยการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขา Vout ของ LM35 จำนวน 15 ค่า ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเป็น 10 mV ต่ออุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส แล้วเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์คำนวณได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าที่วัดได้}|}{\text{ค่าจริง}} \times 100\% \quad (8)$$

ตารางที่ 3 การทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์

ครั้งที่	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้ดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ (ค่าจริง) (°C)	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขา Vout ของ LM35 (V)	ค่าอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์ (ค่าที่วัดได้) (°C)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เซนเซอร์
1	34.3	0.346	34.6	0.87 %
2	33.7	0.343	34.3	1.78 %
3	33.2	0.337	33.7	1.51 %
4	33.1	0.333	33.3	0.60 %
5	32.8	0.331	33.1	0.91 %
6	32.6	0.327	32.7	0.31 %
7	32.5	0.325	32.5	0 %
8	32.4	0.322	32.2	0.62 %
9	32.3	0.321	32.1	0.62 %
10	32.2	0.320	32.0	0.62 %
11	32.1	0.319	31.9	0.62 %
12	32.0	0.315	31.5	1.56 %
13	31.9	0.314	31.4	1.57 %
14	31.8	0.313	31.3	1.57 %
15	31.7	0.312	31.2	1.58 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับได้จากชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)

ทดลองให้เซนเซอร์ซึ่งอยู่ในส่วนของชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) ทำการตรวจวัดอุณหภูมิจำนวน 30 ค่า แล้วส่งข้อมูลไปยังชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รับได้โดยชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) และข้อมูลที่ถูเก็บบันทึกไว้ที่หน่วยความจำข้อมูล EEPROM ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับได้ และข้อมูลที่ถูเก็บบันทึกไว้ที่หน่วยความจำข้อมูล EEPROM เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ถูส่งออกจากชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)

ครั้งที่	ข้อมูลที่ถูส่งออกจากชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)	ข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับได้	ข้อมูลที่ถูเก็บบันทึกไว้ที่หน่วยความจำข้อมูล EEPROM
1	61.3	61.3	61.3
2	58.8	58.8	58.8
3	57.1	57.1	57.1
4	55.4	55.4	55.4
5	53.3	53.3	53.3
6	49.1	49.1	49.1
7	47.5	47.5	47.5
8	46.2	46.2	46.2
9	45.4	45.4	45.4
10	44.4	44.4	44.4
11	43.4	43.4	43.4
12	42.5	42.5	42.5
13	41.9	41.9	41.9
14	41.2	41.2	41.2
15	40.6	40.6	40.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับผิดชอบ และข้อมูลที่ถูเก็บบันทึกไว้ที่หน่วยความจำข้อมูล EEPROM เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ถูส่งออกจากชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) (ต่อ)

ครั้งที่	ข้อมูลที่ถูส่งออกจากชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)	ข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับผิดชอบ	ข้อมูลที่ถูเก็บบันทึกไว้ที่หน่วยความจำข้อมูล EEPROM
16	39.8	39.8	39.8
17	39.1	39.1	39.1
18	38.6	38.6	38.6
19	38.2	38.2	38.2
20	37.7	58.7	58.7
21	37.4	37.4	37.4
22	37.1	37.1	37.1
23	37.0	37.0	37.0
24	36.7	36.7	36.7
25	36.5	36.5	36.5
26	35.8	35.8	35.8
27	35.5	35.5	35.5
28	35.3	35.3	35.3
29	35.0	35.0	35.0
30	34.9	34.9	34.9

พบว่าข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รับผิดชอบ และข้อมูลที่ถูเก็บบันทึกไว้ที่หน่วยความจำข้อมูล EEPROM จะตรงกับข้อมูลที่ถูส่งออกจากชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) แต่จะมีบางค่าที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองแสดงข้อมูลที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รัวได้จากชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

```

<< WIRELESS DATA LOGGER >>

Input Key To Select Mode
=====
0 = Menu
1 = Run>> Connecting..Client
2 = Print History to Monitor
3 = Choose Save Data Address EEPROM

4 = Test Read EEPROM
5 = Test Write EEPROM
6 = Delete Data
7 = Format EEPROM
=====

```

รูปที่ 15 แสดงหน้าจอการทำงานหลักของชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server)

คำสั่งหมายเลข 0 เป็นคำสั่งแสดงหน้าจอหลัก

คำสั่งหมายเลข 1 เป็นการสั่งให้เซนเซอร์เริ่มตรวจวัดอุณหภูมิแล้วส่งข้อมูลมาแสดงผลยังหน้าจอคอมพิวเตอร์ และสั่งให้เก็บบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ที่หน่วยความจำข้อมูล EEPROM

```

1 = Run>> Connecting..Client

-ADDR- -TEMP(c)-
0 : 28.7
1 : 28.4
2 : 28.4
3 : 28.3
4 : 28.3
5 : 28.3
6 : 28.2
7 : 28.2
8 : 28.2
9 : 28.2
10 : 28.2
11 : 28.1
12 : 28.1
13 : 28.0
14 : 28.1
15 : 28.0
16 : 28.0
17 : 28.1
18 : 28.0
19 : 28.0

```

รูปที่ 16 แสดงค่าอุณหภูมิที่ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) รัวได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งหมายเลข 2 เป็นการสั่งให้แสดงข้อมูลที่อยู่ภายในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ออกมา โดยสามารถกำหนดแอดเดรสที่ต้องการให้แสดงค่าออกมาได้

```

2 = Print History to Monitor..(Max = 999 ADDR)
Please Enter 3 Digit...
Begin Data : 000
End Data : 019

History Data Temperature..

-ADDR- -TEMP(c)-
 0 : 28.7
 1 : 28.4
 2 : 28.4
 3 : 28.3
 4 : 28.3
 5 : 28.3
 6 : 28.2
 7 : 28.2
 8 : 28.2
 9 : 28.2
10 : 28.2
11 : 28.1
12 : 28.1
13 : 28.0
14 : 28.1
15 : 28.0
16 : 28.0
17 : 28.1
18 : 28.0
19 : 28.0

End of data...

>> █

```

รูปที่ 17 แสดงข้อมูลที่อยู่ภายในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 000 ถึง 019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งหมายเลข 3 เป็นคำสั่งสำหรับเลือกแอดเดรสที่จะให้ทำการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ได้ ซึ่งหลังจากกำหนดแอดเดรสแล้วจะต้องใช้คำสั่งหมายเลข 1 ต่อเพื่อสั่งให้โปรแกรมเริ่มทำงาน

```
>> 3 = Choose Save Data Address EEPROM
Please Enter 3 Digit...
<< Now Choose Address = 0 >>
Begin Save Address : 020
>> 1 = Run>> Connecting..Client
```

-ADDR-	-TEMP(c)-
20	: 28.4
21	: 28.6
22	: 28.6
23	: 28.6
24	: 28.7
25	: 28.6
26	: 28.6
27	: 28.6
28	: 28.6
29	: 28.7
30	: 28.7

รูปที่ 18 แสดงการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 020 ถึง 030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งหมายเลข 4 เป็นคำสั่งสำหรับการทดลองอ่านค่าจากหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 1000 ถึง 1015

คำสั่งหมายเลข 5 เป็นคำสั่งสำหรับการทดลองเขียนข้อมูลที่ต้องการลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 1000 ถึง 1015 ซึ่งหลังจากเขียนค่าเรียบร้อยแล้วจะต้องใช้คำสั่งหมายเลข 4 ต่อเพื่อสั่งให้อ่านค่าออกมา

```

5 = Test Write EEPROM
Enter Test data : 15
-----Write complete

>> █
4 = Test Read EEPROM

1000 : 15
1001 : 15
1002 : 15
1003 : 15
1004 : 15
1005 : 15
1006 : 15
1007 : 15
1008 : 15
1009 : 15
1010 : 15
1011 : 15
1012 : 15
1013 : 15
1014 : 15
1015 : 15

-----Read complete

>> █

```

รูปที่ 19 แสดงการเขียนค่า 15 ลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 1000 ถึง 1015 และอ่านข้อมูลออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งหมายเลข 6 เป็นคำสั่งสำหรับการเขียนค่า FF ลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM โดยสามารถกำหนดแอดเดรสที่ต้องการให้เขียนค่าลงไปได้ ซึ่งหลังจากเขียนค่าเรียบร้อยแล้วจะต้องใช้คำสั่งหมายเลข 2 ต่อเพื่อสั่งให้อ่านค่าออกมา

```

6 = Delete Data...

Please Enter 3 Digit...
Begin Data : 070
End Data : 075
----Begin Delete
----Delete complete

>> █

2 = Print History to Monitor..(Max = 999 ADDR)
Please Enter 3 Digit...
Begin Data : 070
End Data : 075

History Data Temperature..

-ADDR- -TEMP(c)-
 70 : ff.ff
 71 : ff.ff
 72 : ff.ff
 73 : ff.ff
 74 : ff.ff
 75 : ff.ff

End of data...

>> █

```

รูปที่ 20 แสดงการเขียนค่า FF ลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ตั้งแต่แอดเดรส 070 ถึง 075

คำสั่งหมายเลข 7 เป็นคำสั่งสำหรับการเขียนค่า FF ลงในหน่วยความจำข้อมูล EEPROM ทุกแอดเดรส

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือที่มีความสามารถในการตรวจวัดอุณหภูมิและส่งข้อมูลจากบริเวณที่ทำการตรวจวัดไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ห่างกันได้ โดยใช้วิธีการสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ ซึ่งเป็นวิธีการสื่อสารวิธีการหนึ่งที่ไม่ต้องใช้สายสัญญาณในการส่งข้อมูล ทำให้เกิดความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น เมื่อต้องการทราบค่าอุณหภูมิจะต้องส่งให้ชุดที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server) ส่งคำสั่งไปยังชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client) เพื่อสั่งให้เซนเซอร์เริ่มทำการตรวจวัดอุณหภูมิ จากนั้นจะส่งข้อมูลมาแสดงผลยังหน้าจอคอมพิวเตอร์และบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ที่หน่วยความจำข้อมูล EEPROM ที่มีความจุ 2 KBytes ซึ่งอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51ED2 เมื่อได้ทดสอบการทำงานพบว่า การรับส่งข้อมูลมีความถูกต้องในระดับหนึ่ง และระยะทางที่สามารถทำการส่งสัญญาณข้อมูลไปได้สูงสุดคือประมาณ 24 เมตร

ข้อเสนอแนะ

1. โครงการพิเศษนี้ใช้การวัดอุณหภูมิเป็นตัวอย่างของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่ง ซึ่งการนำไปใช้งานสามารถประยุกต์ใช้กับเซนเซอร์ชนิดอื่นๆ ได้หลายรูปแบบ
2. โครงการพิเศษนี้เลือกใช้หน่วยความจำข้อมูล EEPROM ในการบันทึกข้อมูล ซึ่งมีข้อดีคือ เป็นหน่วยความจำแบบหนึ่งที่สามารถเก็บรักษาข้อมูลได้แม้ว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้กับตัวมัน นอกจากนี้ยังเป็นส่วนที่อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51ED2 ทำให้สะดวกในการใช้งาน แต่ก็มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการเขียนและอ่านข้อมูลมากกว่าการใช้ RAM และมีพื้นที่ในการเก็บข้อมูลจำนวนจำกัด ซึ่งอาจต้องทำการเปลี่ยนแปลงส่วนที่ใช้บันทึกข้อมูลให้เหมาะสม สำหรับการบันทึกข้อมูลปริมาณมาก แต่สำหรับการบันทึกข้อมูลในลักษณะที่โครงการพิเศษนี้นำเสนอก็ถือว่าเพียงพอ
3. เครื่องรับส่งข้อมูลแบบไร้สายจะมีความสามารถและประสิทธิภาพมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงต้องมีการออกแบบโปรแกรมการทำงานให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กมล เขมระรังษี และไพโรจน์ ไวกานิชกิจ. 2539. **เปิดโลกการสื่อสารไร้สาย**. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดบุ๊คเซ็น.

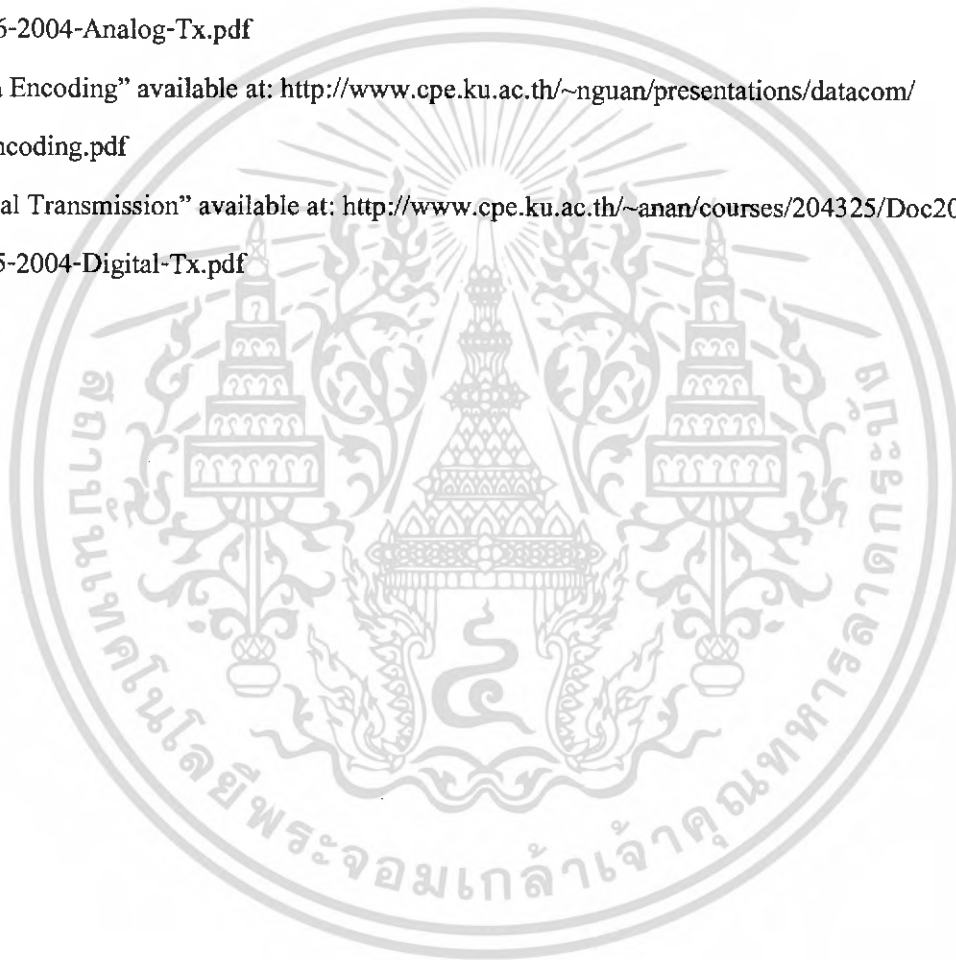
โกศล เพ็ชรสุวรรณ และชงกี โซจิ. 2534. **เทคโนโลยีโทรคมนาคม**. 5. กรุงเทพฯ: ดวงกมล.

ชูชัย ชนสารตั้งเจริญ และพิชัย ภัคดีพานิชเจริญ. **ระบบวิทยุสื่อสาร**. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

“Analog Transmission” available at: <http://www.cpe.ku.ac.th/~anan/courses/204325/Doc2004/06-2004-Analog-Tx.pdf>

“Data Encoding” available at: <http://www.cpe.ku.ac.th/~nguan/presentations/datacom/encoding.pdf>

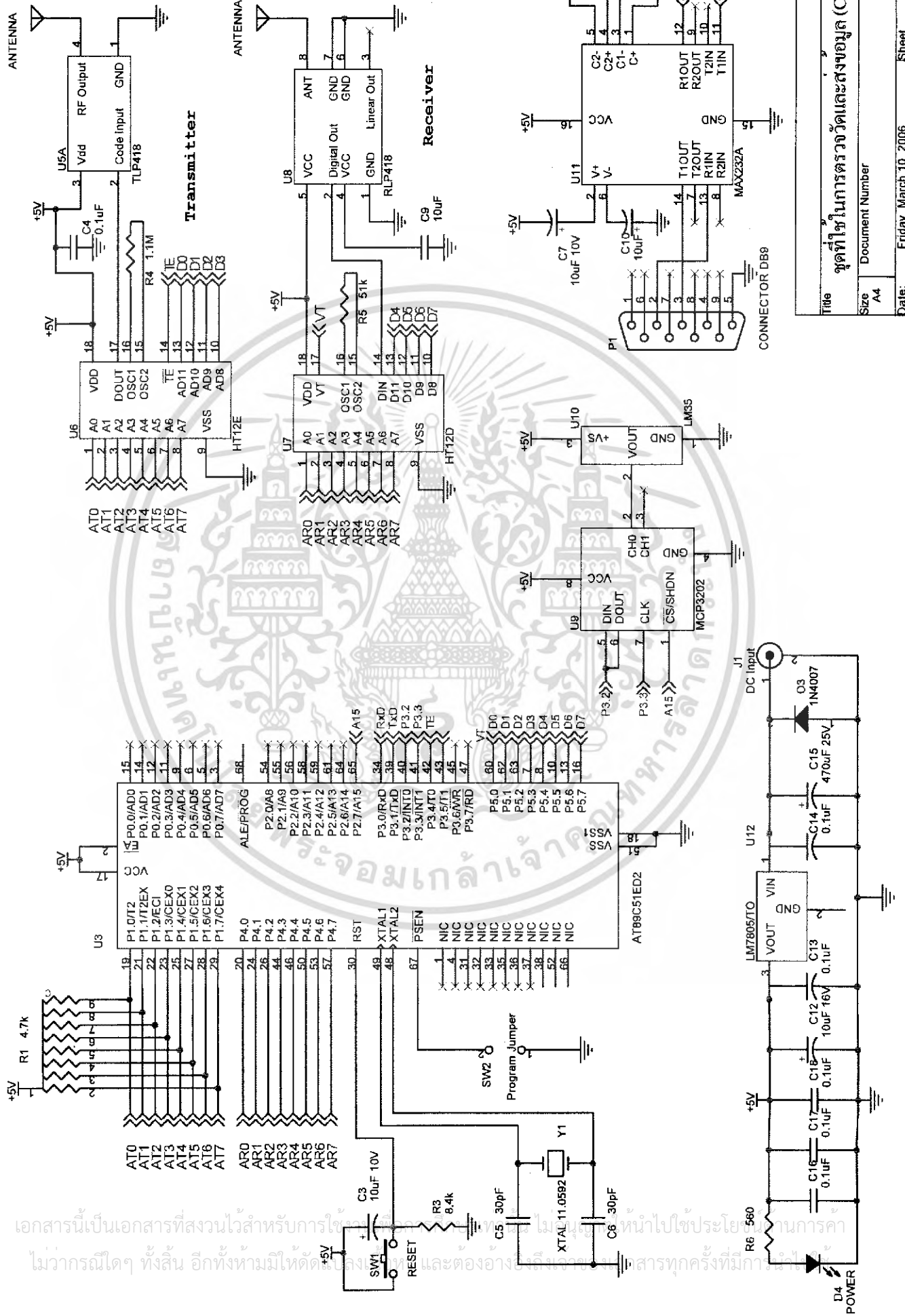
“Digital Transmission” available at: <http://www.cpe.ku.ac.th/~anan/courses/204325/Doc2004/05-2004-Digital-Tx.pdf>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



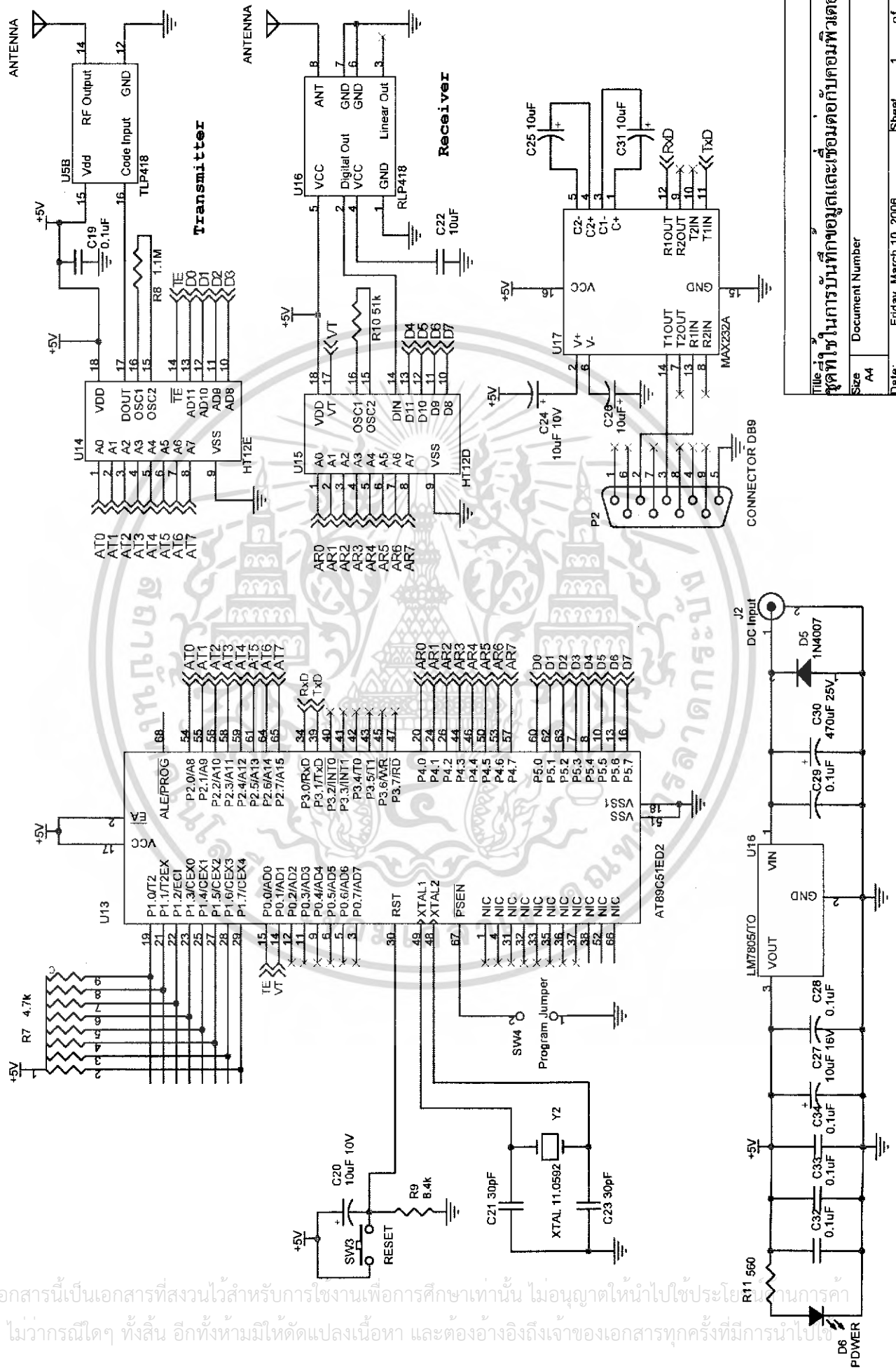
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชุดที่ใช้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูล (Client)

Title	Document Number	Sheet	1	of	1
Size	A4	Date:	Friday, March 10, 2006		
Rev					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ
 ไม่สามารถใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ: วิชาในการบันทึกข้อมูลและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Server)	
Size: A4	Document Number
Date: Friday, March 10, 2006	Rev
Sheet: 1	of 1

setinit.h

```
1 //INITIAL COMMAND
2 void serinit() //initial serial port
3 {
4     SCON=0x50;
5     TMOD=0x20;
6     TH1=0xfd;
7     TI=1;
8     TR1=1;
9 }
10 void dmsec (unsigned int count) // mSec Delay 11.0592 Mhz
11 {
12     unsigned int i;
13     while(count)
14     {
15         i=115;
16         while(i>0)
17             i--;
18         count--;
19     }
20 }
```



serd.h

```
1 //Send Receive Wireless
2 //=====
3 //send client -> server "HIGH"
4 unsigned char send_cli_se(unsigned char dataout)
5 {
6     unsigned char senddata;
7     senddata = (dataout<<4)&0xf0;
8     return senddata;
9 }
10 //receive of client "LOW"
11 unsigned char rec_cli()
12 {
13     unsigned char receive;
14     receive = P5&0x0f;
15     return receive;
16 }
17 //send server -> client "LOW"
18 unsigned char send_se_cli(unsigned char dataout)
19 {
20     unsigned char senddata;
21     senddata = dataout&0x0f;
22     return senddata;
23 }
24 //receive of server "HIGH"
25 unsigned char rec_se()
26 {
27     unsigned char receive;
28     receive = (P5>>4)&0x0f;
29     return receive;
30 }
```

```
1 #include<REG51ED2.H>
2 #include<STDIO.H>
3 #include<ABSACC.H>
4 #include<SERD.H>
5 #include<SETINIT.H>
6 sbit DATA = P3^3; //ADC data
7 sbit CLK = P3^4; //ADC clock
8 sbit A15_CS = P3^5; //'1' not read adc, '0' read adc
9 sbit TE = P2^2; // '0' when send, '1' when stop send (manual)
10 sbit VT = P2^3; // '1' when complete receive (auto set)
11 //=====
12 char check,send_en,ram_en;
13 int signal,addram;
14 unsigned char value[3];
15 unsigned int interruptcnt;
16 void timer0 (void) interrupt 1
17 {
18     if(++interruptcnt == 200) // 1 sec = 5000
19     {
20         if((VT==1)&&(send_en==0)) send_en=1;
21         interruptcnt = 0; // clear int counter
22     }
23 }
24 //=====
25 unsigned int read_ADC(unsigned char n)
26 {
27     char i,channel;
28     unsigned int k,volt;
29     k=0;
30     // set config to use A/D 0x0d = 1101
31     //-> start bit = 1
32     //-> SGL/~DIFF = 1 (single ended mode)
33     //-> ODD/~SIGN = 0 (use channel 0)
34     //-> MSBF = 1 (get MSB first, but if set 0 get LSB first)
35     A15_CS = 0; // start use A/D (sensor)
36     if(n==0) channel= 0x0d; //use channel 0
37     else channel= 0x0f; //use channel 1
```

```
38 // send config nibble dummy read NULL bit after config nibble
39 for(i=0; i<4; i++)
40 {
41     CLK=0;
42     if(channel&8) DATA=1;
43     else DATA=0;
44     CLK=1;
45     channel <<=1;
46 }
47 DATA=1; //EDIT.....
48 CLK=0;
49 // now read 12-bit data
50 for(i=0; i<12; i++)
51 {
52     k<<=1;
53     CLK=1;
54     CLK=0;
55     if(DATA==1) k |=1; //EDIT.....
56     else k &= ~1;
57 }
58 A15_CS = 1; //end use ADC
59 k&=0xfff;
60 volt=k*12;
61 volt=volt-200;
62 volt=volt-(volt%10); //digital calibrate
63 return volt;
64 }
65 //-----
66 split()
67 {
68     unsigned int x;
69     unsigned char z;
70     z=0;
71     x=read_ADC(0);
72     while(z<3)
73     {
74         switch(z)
```

```
75     {
76         case 0 : value[0]=(x/1000)%10;
77             break;
78         case 1 : value[1]=(x/100)%10;
79             break;
80         case 2 : value[2]=(x/10)%10;
81             break;
82     }
83     z++;
84 }
85 }
86 //=====
87 senddata()
88 {
89     unsigned char i;
90     for(i=0;i<3;i++)
91     {
92         TE=0;
93         if(i==0)
94         {
95             P5=send_cli_se(0x0a);
96             dmsec(150);
97         }
98         P5=send_cli_se(value[i]);
99         if (value[i]==0)
100        {
101            printf("0");
102        }
103        else printf("%bX",value[i]);
104        dmsec(150);
105        if(i==0)
106        {
107            P5=send_cli_se(0x0c); //for same data bug
108            dmsec(150);
109        }
110        if(i==1)
111        {
```

client.c

```
112     P5=send_cli_se(0x0b); //for '.'
113     putchar('.');
114     dmsec(150);
115 }
116 }
117 putchar('ค');
118 P5=send_cli_se(0x0d);
119 dmsec(150);
120 TE=1;
121 //=====
122 P1=0x77; //address reverse
123 P4=0x44;
124 //=====
125 P5=0x00;
126 P5=0xff;
127 dmsec(100);
128 //=====
129 P1=0x88; //address for receive
130 P4=0x11;
131 }
132 //=====
133 check_dln()
134 {
135     unsigned char k,j;
136     if(send_en==1)
137     {
138         k = rec_cli();
139         if(k==0x0a) //receive signal from server
140         {
141             for(j=0;j<20;j++)
142             {
143                 spilt();
144                 senddata();
145                 dmsec(500);
146             }
147         }
148     } //=====final signal=====
```

client.c

```
149     TE=0;
150     P5=send_cli_se(0x0e);
151     dmsec(150);
152     TE=1;
153     //=====
154     P1=0x77;//address reverse
155     P4=0x44;
156     //=====
157     P5=0x00;
158     P5=0xff;
159     dmsec(100);
160     //=====
161     P1=0x88;//address for receive
162     P4=0x11;
163     printf("\nWait call from 'Server'...\n");
164     send_en=0;
165 }
166 }
167 //=====
168 void main(void)
169 {
170     serinit();
171     P1=0x88;//address for receive
172     P4=0x11;//address for send
173     //set interrupt timer0 every 200 us(8bit auto reload)
174     TH0=0x48;TL0=0x48;
175     TMOD|=0x02;
176     ET0=1;
177     EA=1;
178     TR0=1;
179     send_en = 0;
180     printf("\n'Client' ON...wait call from 'Server'");
181     while(1)
182     {
183         check_din();
184     }
185 }
```

```
1 //EEPROM COMMAND PROGRAM
2 //=====
3 void wr_ee(void)
4 {
5     unsigned int i;
6     char a[2],b;
7     printf(" = Test Write EEPROM\n");
8     printf("\nEnter Test data : ");
9     a[0] = ( 0x0f & getchar() )<<4;
10    a[1] = 0x0f&getchar();
11    b=a[0]|a[1];
12    for(i=0x7d0;j<=0x7df;i++)
13    {
14        eeprom_write(i,b);
15    }
16    printf("\n----Write complete\n");
17 }
18 //=====
19 void rd_ee(void)
20 {
21     unsigned int i ;
22     printf(" = Test Read EEPROM\n");
23     for(i=0x7d0;j<=0x7df;i++)
24     {
25         printf("%u : %bx \n",i-1000,eeprom_read(i));
26     }
27     printf("\n----Read complete\n");
28 }
29 //=====
30 void format_ee(void)
31 {
32     unsigned int i ;
33     printf(" = Format EEPROM\n");
34     for(i=0x000;j<0x7ff;i++)
35     {
36         eeprom_write(i,0xff);
37     }
```

```
38     printf("\n---Format complete!\n");
39 }
40 //=====
41 void choose_del(void)
42 {
43     char l,a[3],b[3];
44     int x[3],y[3];
45     printf(" = Delete Data...\n");
46     printf("\n Please Enter 3 Digit...");
47     printf("\n Begin Date : ");
48     for(i=0;i<3;i++)
49     {
50         get_begin:
51         a[i] = _getkey();
52         if((a[i]<0x30)|(a[i]>0x39)) goto get_begin;
53         printf("%c",a[i]);
54     }
55     for(i=0;i<3;i++)
56     {
57         x[i]=a[i]&0x0f;
58     }
59     x[0]=x[0]*100;
60     x[1]=x[1]*10;
61     x[2]=x[0]+x[1]+x[2];
62     //-----
63     get_end_again:
64     printf("\n End Date : ");
65     for(i=0;i<3;i++)
66     {
67         get_end:
68         b[i] = _getkey();
69         if((b[i]<0x30)|(b[i]>0x39)) goto get_end;
70         printf("%c",b[i]);
71     }
72     for(i=0;i<3;i++)
73     {
74         y[i]=b[i]&0x0f;
```

```
75 }
76 y[0]=y[0]*100;
77 y[1]=y[1]*10;
78 y[2]=y[0]+y[1]+y[2];
79 if(y[2]<x[2])
80 {
81     printf(" !! ERROR enter again !!");
82     goto get_end_again;
83 }
84 printf("\n----Begin Delete");
85 for(i=x[2];i<=y[2];i++)
86 {
87     eeprom_write(i*2,0xff);
88     eeprom_write((i*2)+1,0xff);
89 }
90 printf("\n----Delete complete\n");
91 }
92 //-----
93 void phistory(unsigned int x,unsigned int y)
94 {
95     unsigned int i,count;
96     char c;
97     printf("\n\n History Data Temperature...\n\n");
98     printf("-ADDR- -TEMP(c)-");
99     for(i=x;i<=y;i++)
100    {
101        printf("\n %u : %bx.%sbx",i,eeprom_read(i*2),eeprom_read((i*2)+1));
102        if(i==y)
103        {
104            printf("\n\nEnd of data...\n");
105        }
106        if(++count==20)
107        {
108            count=0;
109            printf("\nPress Spacebar to continue...");
110            do
111            {
```

```
112     c = _getkey();
113     }
114     while(c!=0x20);
115     }
116     }
117 }
118 //=====
119 void history(void)
120 {
121     char i,a[3],b[3];
122     int x[3],y[3];
123     printf(" = Print History to Monitor..(Max = 999 ADDR)");
124     printf("\n Please Enter 3 Digit...");
125     printf("\n Begin Data : ");
126     for(i=0;i<3;i++)
127     {
128         get_begin:
129         a[i] = _getkey();
130         if((a[i]<0x30)|(a[i]>0x39)) goto get_begin;
131         printf("%c",a[i]);
132     }
133     for(i=0;i<3;i++)
134     {
135         x[i]=a[i]&0x0f;
136     }
137     x[0]=x[0]*100;
138     x[1]=x[1]*10;
139     x[2]=x[0]+x[1]+x[2];
140 //-----
141     get_end_again:
142     printf("\n End Data : ");
143     for(i=0;i<3;i++)
144     {
145         get_end:
146         b[i] = _getkey();
147         if((b[i]<0x30)|(b[i]>0x39)) goto get_end;
148         printf("%c",b[i]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
149 }
150 for(i=0;i<3;i++)
151 {
152     y[i]=b[i]&0x0f;
153 }
154 y[0]=y[0]*100;
155 y[1]=y[1]*10;
156 y[2]=y[0]+y[1]+y[2];
157 if(y[2]<x[2])
158 {
159     printf(" !! ERROR enter again !!");
160     goto get_end_again;
161 }
162 phistory(x[2],y[2]);
163 }
164 //=====
```



eprom.h

```
1 //write and read EEPROM
2 //=====
3 #include<absacc.h>
4 #pragma DISABLE
5 void eeprom_write(unsigned int addr,unsigned char dat)
6 {
7 while((EECON & 0x01)!=0x00);
8 EECON = 0x02;
9 XBYTE[addr] = dat;
10 EECON = 0x00;
11 while((EECON & 0x01)!=0x00);
12 EECON = 0x50;
13 EECON = 0xa0;
14 }
15 #pragma DISABLE
16 unsigned char eeprom_read(unsigned int addr)
17 {
18 unsigned char dat = 0;
19 while((EECON & 0x01)!=0x00);
20 EECON = 0x02;
21 dat = XBYTE[addr];
22 EECON = 0x00;
23 return(dat);
24 }
```

```
1 #include<REG51ED2.H>
2 #include<STDIO.H>
3 #include<EEPROM.H>
4 #include<EECOM.H>
5 #include<SETINIT.H>
6 #include<SERD.H>
7 sbit TE = P1^4; // '0' when send. '1' when stop send (manual)
8 sbit VT = P1^5; // '1' when complete receive (auto set)
9 sbit SW = P1^6; // Switch
10 sbit LED = P1^7; // Test LED
11 char *title[ ] = "\n\n<< WIRELESS DATA LOGGER >>";
12 char *menu[ ] = "\n Input Key To Select Mode:\n\n
13     \n =====\n
14     \n 0 = Menu\n
15     \n 1 = Run>> Connecting..Client\n
16     \n 2 = Print History to Monitor\n
17     \n 3 = Choose Save Data Address EEPROM\n
18     \n 4 = Test Read EEPROM\n
19     \n 5 = Test Write EEPROM\n
20     \n 6 = Delete Data\n
21     \n 7 = Format EEPROM\n
22     \n =====\n";
23 //=====
24 char send_en,read_en,conti;
25 unsigned int ee_add,numdata;
26 unsigned int interruptcnt;
27 //=====
28 connect_client();
29 receive_data_in()
30 {
31     unsigned int k;
32     char data_temp[3],data_final[2],data_end,count_num;
33     count_num=0;
34     if(read_en == 1)
35     {
36         read_en=0;
37         data_end=0;
```

```
38     do
39     {
40         k = rec_se();
41         switch (k)
42         {
43             case 0x00 :
44             {
45                 data_temp[count_num++]=0x00;
46                 while(0x00==rec_se());
47             }
48             break;
49             case 0x01 :
50             {
51                 data_temp[count_num++]=0x10;
52                 while(0x01==rec_se());
53             }
54             break;
55             case 0x02 :
56             {
57                 data_temp[count_num++]=0x20;
58                 while(0x02==rec_se());
59             }
60             break;
61             case 0x03 :
62             {
63                 data_temp[count_num++]=0x30;
64                 while(0x03==rec_se());
65             }
66             break;
67             case 0x04 :
68             {
69                 data_temp[count_num++]=0x40;
70                 while(0x04==rec_se());
71             }
72             break;
73             case 0x05 :
74             {
```

```
75     data_temp[count_num++]=0x50;
76     while(0x05==rec_se());
77 }
78 break;
79 case 0x06 :
80 {
81     data_temp[count_num++]=0x60;
82     while(0x06==rec_se());
83 }
84 break;
85 case 0x07 :
86 {
87     data_temp[count_num++]=0x70;
88     while(0x07==rec_se());
89 }
90 break;
91 case 0x08 :
92 {
93     data_temp[count_num++]=0x80;
94     while(0x08==rec_se());
95 }
96 break;
97 case 0x09 :
98 {
99     data_temp[count_num++]=0x90;
100    while(0x09==rec_se());
101 }
102 break;
103 case 0x0b :
104 {
105     while(0x0b==rec_se());
106 }
107 break;
108 case 0x0d :
109 {
110     data_end=1; //signal for end of data
111     while(0x0d==rec_se());
```

```
112     }
113     break;
114     case 0x0e :
115     {
116         LED=0;
117         conti=1;
118         data_end=1;
119         dmsec(2000);
120     }
121     break;
122     }
123 }
124 while(!data_end);
125 if(conti==1)
126 {
127     goto crossjump;
128 }
129 data_temp[1]=(data_temp[1]>>4)&0x0f;
130 data_final[0]=data_temp[0]+data_temp[1];
131 data_final[1]=(data_temp[2]>>4)&0x0f;
132 printf("\n %u : ",ee_add/2);
133 printf("%bx %bx",data_final[0],data_final[1]);
134 eeprom_write(ee_add,data_final[0]);
135 eeprom_write(ee_add+1,data_final[1]);
136 ee_add=ee_add+2;
137 if(ee_add==999)
138 {
139     ee_add=0;
140 }
141 crossjump:
142 if(conti==1)
143 {
144     //clear for next command
145     P2=0x55;//address for send
146     P4=0x99;//address for receive
147     P5=0x00;
148     P5=0xff;
```

server.c

```
149     dmsec(100);
150     P2=0x88;//address for send
151     P4=0x11;//address for receive
152     LED=1;
153 }
154 }
155 }
156 //=====
157 connect_client()
158 {
159     if (send_en==1)
160     {
161         send_en=0;
162         TE=0;
163         P5 = send_se_cli(0x0a);
164         dmsec(200);
165         TE=1;
166         //clear for next command
167         P2=0x55;//address for send
168         P4=0x99;//address for receive
169         P5=0x00;
170         P5=0xff;
171         dmsec(100);
172         P2=0x88;//address for send
173         P4=0x11;//address for receive
174     }
175 }
176 //=====
177 tranfer()
178 {
179     printf(" = Run>> Connecting..Client\n");
180     printf("\n-ADDR--TEMP(c)-");
181     while(1)
182     {
183         send_en=1;
184         conti=0;
185         connect_client();
```

```
185     while(!conti)
186     {
187         receive_data_in();
188     }
189 }
190 }
191 }
192 //=====
193 void timer0 (void) interrupt 1
194 {
195     if (++interruptcnt == 50) // 1 sec = 5000 (10ms = 50)
196     {
197         if((VT==1)&&(send_en==0))
198         {
199             read_en=1;
200         }
201         interruptcnt = 0; // clear int counter
202     }
203 }
204 //=====
205 void address_save(void)
206 {
207     char i,a[3];
208     int x[3];
209     printf(" - Choose Save Data Address EEPROM");
210     printf("\n Please Enter 3 Digit...");
211     printf("\n << Now Choose Address = %u >>",ee_add/2);
212     printf("\n Begin Save Address : ");
213     for(i=0;i<3;i++)
214     {
215         get_begin:
216         a[i] = _getkey();
217         if((a[i]<0x30)||(a[i]>0x39)) goto get_begin;
218         printf("%c",a[i]);
219     }
220     for(i=0;i<3;i++)
221     {
222         x[i]=a[i]&0x0f;
```

```
220     }
221     x[0]=x[0]*100;
222     x[1]=x[1]*10;
223     x[2]=x[0]+x[1]+x[2];
224     ee_add=x[2]*2;
225 }
226
227 //=====
228 void main(void)
229 {
230     char c;
231     serinit();
232
233     P2=0x88; //address for send
234     P4=0x11; //address for receive
235     //set interrupt timer0 every 200 us(8bit auto reload)
236     TH0=0x48;
237     TL0=0x48;
238     TMOD|=0x02;
239     ET0=1;
240     EA=1;
241     TR0=1;
242     ee_add=0; //Set start address of EEPROM
243     puts(*title);
244     puts(*menu);
245     while(1)
246     {
247         do
248         {
249             do
250             {
251                 printf("\n>> ");
252                 c = _getkey();
253             }
254             while(c==0x13);
255             printf("%c",c);
256             if(c==0x30) puts(*menu);
257             if(c==0x31) tranfer();

```

```
260     if(c==0x32) history();
261     if(c==0x33) address_save();
262     if(c==0x34) rd_ee();
263     if(c==0x35) wr_ee();
264     if(c==0x36) choose_del();
265     if(c==0x37) format_ee();
266 }
267 while (c != 0x13);
268 }
269 }
```



Features

- 80C52 Compatible
 - 8051 Instruction Compatible
 - Six 8-bit I/O Ports (64 Pins or 68 Pins Versions)
 - Four 8-bit I/O Ports (44 Pins Version)
 - Three 16-bit Timer/Counters
 - 256 Bytes Scratch Pad RAM
 - 9 Interrupt Sources with 4 Priority Levels
- Integrated Power Monitor (POR/PFD) to Supervise Internal Power Supply
- ISP (In-System Programming) Using Standard V_{CC} Power Supply
- 2048 Bytes Boot ROM Contains Low Level Flash Programming Routines and a Default Serial Loader
- High-speed Architecture
 - In Standard Mode:
 - 40 MHz (V_{CC} 2.7V to 5.5V, both internal and external code execution)
 - 60 MHz (V_{CC} 4.5V to 5.5V and internal code execution only)
 - In X2 mode (6 Clocks/machine cycle)
 - 20 MHz (V_{CC} 2.7V to 5.5V, both internal and external code execution)
 - 30 MHz (V_{CC} 4.5V to 5.5V and internal code execution only)
- 64K Bytes On-chip Flash Program/Data Memory
 - Byte and Page (128 Bytes) Erase and Write
 - 100k Write Cycles
- On-chip 1792 bytes Expanded RAM (XRAM)
 - Software Selectable Size (0, 256, 512, 768, 1024, 1792 Bytes)
 - 768 Bytes Selected at Reset for T89C51RD2 Compatibility
- On-chip 2048 Bytes EEPROM Block for Data Storage (AT89C51ED2 Only)
 - 100K Write Cycles
- Dual Data Pointer
- Variable Length MOVX for Slow RAM/Peripherals
- Improved X2 Mode with Independent Selection for CPU and Each Peripheral
- Keyboard Interrupt Interface on Port 1
- SPI Interface (Master/Slave Mode)
- 8-bit Clock Prescaler
- 16-bit Programmable Counter Array
 - High Speed Output
 - Compare/Capture
 - Pulse Width Modulator
 - Watchdog Timer Capabilities
- Asynchronous Port Reset
- Full-duplex Enhanced UART with Dedicated Internal Baud Rate Generator
- Low EMI (Inhibit ALE)
- Hardware Watchdog Timer (One-time Enabled with Reset-Out), Power-off Flag
- Power Control Modes: Idle Mode, Power-down Mode
- Single Range Power Supply: 2.7V to 5.5V
- Industrial Temperature Range (-40 to +85°C)
- Packages: PLCC44, VQFP44, PLCC68, VQFP64, PDIL40

Description

AT89C51RD2/ED2 is high performance CMOS Flash version of the 80C51 CMOS single chip 8-bit microcontroller. It contains a 64-Kbyte Flash memory block for code and for data.

The 64-Kbytes Flash memory can be programmed either in parallel mode or in serial mode with the ISP capability or with software. The programming voltage is internally generated from the standard V_{CC} pin.



8-bit Flash Microcontroller

AT89C51RD2
AT89C51ED2

Rev. 4235G-8051-08/05



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EEPROM Data Memory

This feature is available only for the AT89C51ED2 device.

The 2K bytes on-chip EEPROM memory block is located at addresses 0000h to 07FFh of the XRAM/ERAM memory space and is selected by setting control bits in the EECON register.

A read or write access to the EEPROM memory is done with a MOVX instruction.

Write Data

Data is written by byte to the EEPROM memory block as for an external RAM memory.

The following procedure is used to write to the EEPROM memory:

- Check EEBUSY flag
- If the user application interrupts routines use XRAM memory space: Save and disable interrupts.
- Load DPTR with the address to write
- Store A register with the data to be written
- Set bit EEE of EECON register
- Execute a MOVX @DPTR, A
- Clear bit EEE of EECON register
- Restore interrupts.
- EEBUSY flag in EECON is then set by hardware to indicate that programming is in progress and that the EEPROM segment is not available for reading or writing.
- The end of programming is indicated by a hardware clear of the EEBUSY flag.

Figure 38 represents the optimal write sequence to the on-chip EEPROM data memory.

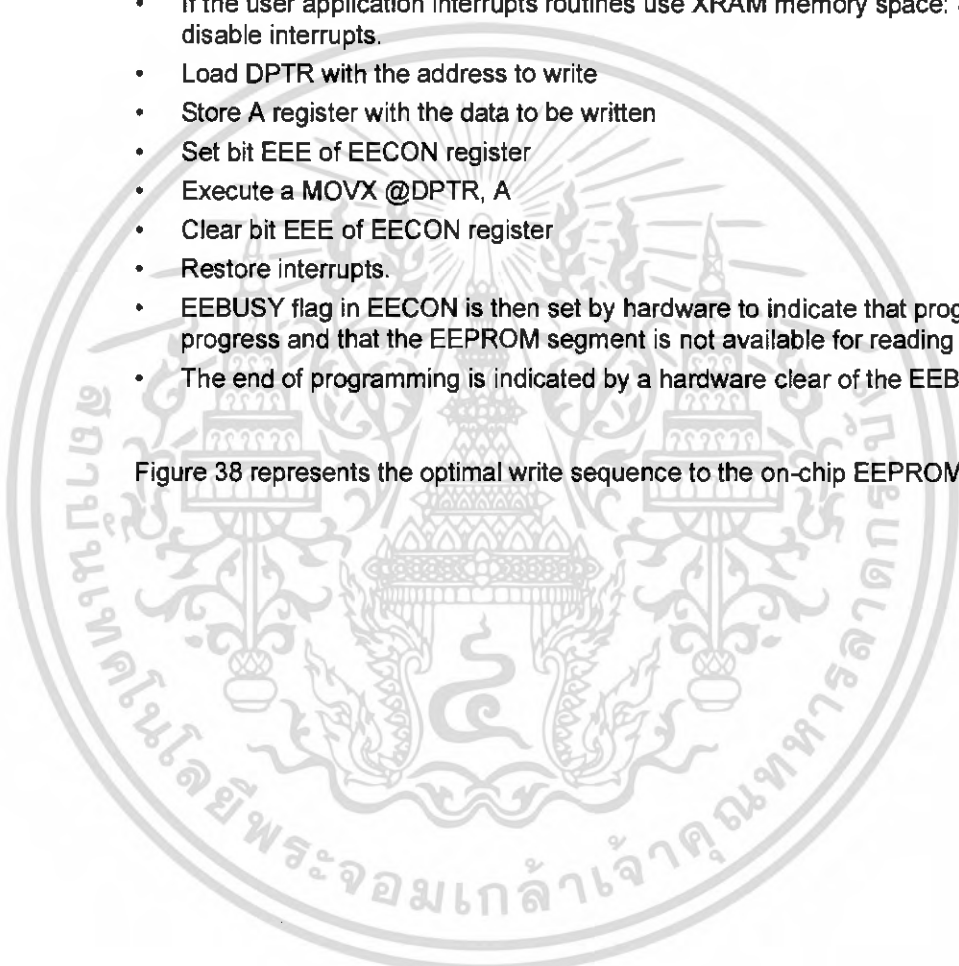
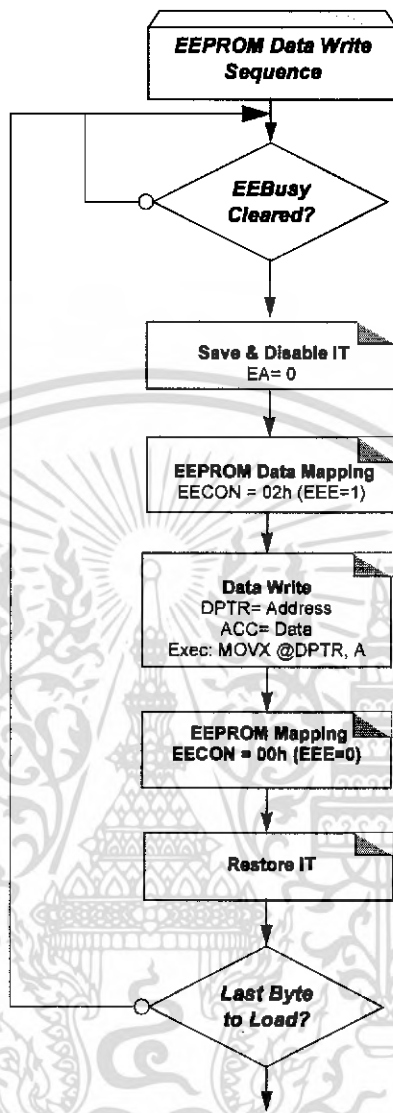


Figure 38. Recommended EEPROM Data Write Sequence

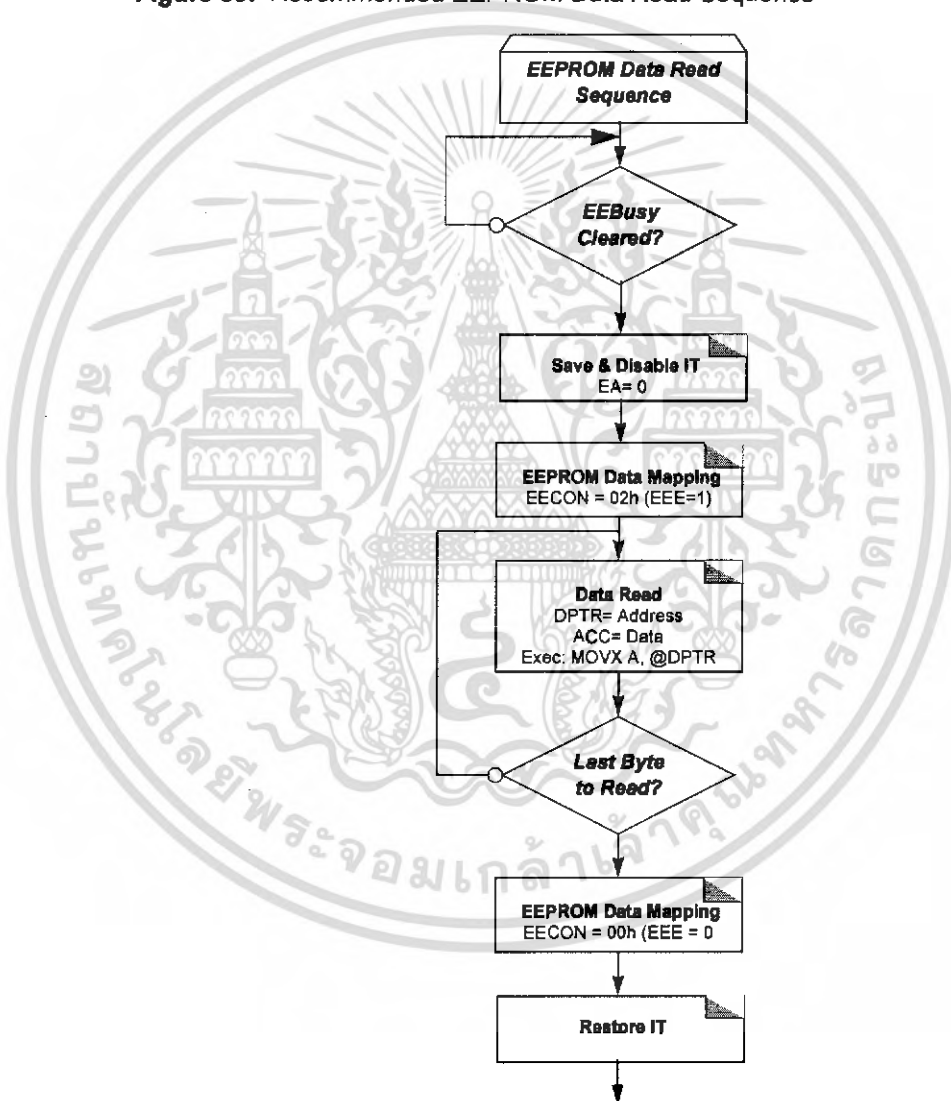


Read Data

The following procedure is used to read the data stored in the EEPROM memory:

- Check EEBUSY flag
- If the user application interrupts routines use XRAM memory space: Save and disable interrupts.
- Load DPTR with the address to read
- Set bit EEE of EECON register
- Execute a MOVX A, @DPTR
- Clear bit EEE of EECON register
- Restore interrupts.

Figure 39. Recommended EEPROM Data Read Sequence



Registers

Table 66. EECON Register

EECON (0D2h)
EEPROM Control Register

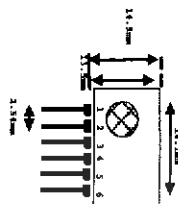
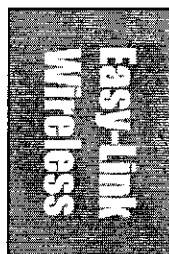
7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	-	-	-	EEE	EEBUSY
Bit Number	Bit Mnemonic	Description					
7-2	-	Reserved The value read from this bit is indeterminate. Do not set this bit.					
1	EEE	Enable EEPROM Space bit Set to map the EEPROM space during MOVX instructions (Write or Read to the EEPROM). Clear to map the XRAM space during MOVX.					
0	EEBUSY	Programming Busy flag Set by hardware when programming is in progress. Cleared by hardware when programming is done. Can not be set or cleared by software.					

Reset Value = XXXX XX00b
Not bit addressable

TLP/RLP434

RF ASK Low Cost Hybrid Modules for Radio Control and Telemetry applications

TLP-434 Transmitter



- pin 1 : Vcc
- pin 2 : Vcc
- pin 3 : Gnd
- pin 4 : Gnd
- pin 5 : RF Output
- pin 6 : Digital Data Input

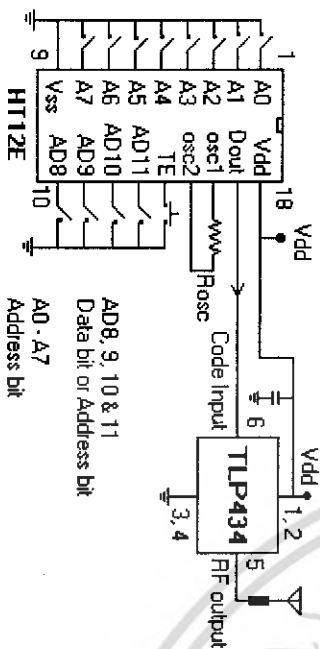
Frequency 315, 418 and 433.92MHz

Modulation : ASK
 Operation Voltage : 2 - 12 VDC
 RF Output Power : 8mW @3.6V

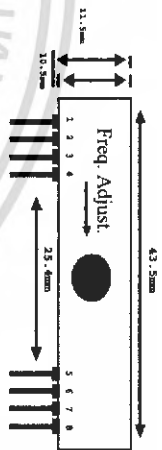
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Vcc	Operating supply voltage		2.0	-	12.0	V
Icc	Peak Current		-	5	-	mA
Vh	Input High Voltage	Idata=100uA (High)	Vcc-0.5	Vcc	Vcc+0.5	V
VI	Input Low Voltage	Idata=0 uA (Low)	-	-	0.3	V
FO	Absolute Frequency		314.8	315	315.2	MHz
	Relative To 433.92MHz		+/-150		+/-200	KHz
PO	RF Output Power-500hm	Vcc = 9V to 12V	-	16	-	dBm
		Vcc = 5V to 6V	-	14	-	dBm
DR	Data Rate	External Encoding	-	2.4K	3K	bps

Notes : (Case Temperature = 25°C + 2°C, Test Load Impedance = 50 ohm)

Application Circuit I:
 Typical Key-chain Transmitter using HT12B-18DIP, a Binary 12 bit Encoder from Holtek Semiconductor Inc.



RLP-434 Receiver



- pin 1 : Gnd
- pin 2 : Digital Data Output
- pin 3 : Linear Output
- pin 4 : Vcc
- pin 5 : Vcc
- pin 6 : Gnd
- pin 7 : Gnd
- pin 8 : Antenna (About 30 - 35 cm)

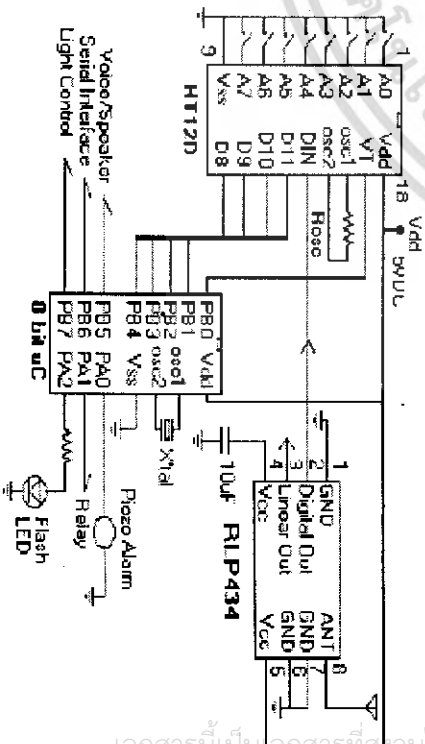
Frequency 315, 418 and 433.92MHz

Modulation : ASK
 Supply Voltage : 4.5 - 5.5 VDC
 Output : Digital & Linear
 Sensitivity : 3uVrms

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Vcc	Operating supply voltage		4.5	5	5.5	V
Icc	Operating Current		-	3.5	4.5	mA
Vdata	Data Out	Idata = +200 uA (High)	Vcc-0.5	-	Vcc	V
		Idata = -10 uA (Low)	-	-	0.3	V

Characteristics	SYM	Min	Typ	Max	Unit
Operation Radio Frequency	FC	315, 418 and 434			MHz
Sensitivity	Pref	-100	-103	-106	dBm
Channel Width			+1.5		KHz
Receiver Turn On Time			5		ms
Noise equivalent BW	NEB		4		KHz
Baseband Data Rate			3		KHz

Application Circuit II:
 Typical RF Receiver using HT12D-18DIP, a Binary 12 bit Decoder with 8 bit DC HT48RXX from Holtek Semiconductor Inc.



Laipac Technology, Inc.
 105 West Beaver Creek Rd. Unit 207 Richmond Hill Ontario L4B 1C6 Canada
 Tel: (905)762-1228 Fax: (905)770-6143 e-mail: info@laipac.com



เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของ บริษัท ลาป้าค เทคโนโลยี จำกัด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

- Operating voltage
 - 2.4V~5V for the HT12A
 - 2.4V~12V for the HT12E
- Low power and high noise immunity CMOS technology
- Low standby current: 0.1μA (typ.) at V_{DD}=5V
- HT12A with a 38kHz carrier for infrared transmission medium
- Minimum transmission word
 - Four words for the HT12E
 - One word for the HT12A
- Built-in oscillator needs only 5% resistor
- Data code has positive polarity
- Minimal external components
- HT12A/E: 18-pin DIP/20-pin SOP package

Applications

- Burglar alarm system
- Smoke and fire alarm system
- Garage door controllers
- Car door controllers
- Car alarm system
- Security system
- Cordless telephones
- Other remote control systems

General Description

The 2¹² encoders are a series of CMOS LSIs for remote control system applications. They are capable of encoding information which consists of N address bits and 12-N data bits. Each address/data input can be set to one of the two logic states. The programmed addresses/data are transmitted together with the header bits

via an RF or an infrared transmission medium upon receipt of a trigger signal. The capability to select a \overline{TE} trigger on the HT12E or a DATA trigger on the HT12A further enhances the application flexibility of the 2¹² series of encoders. The HT12A additionally provides a 38kHz carrier for infrared systems.

Selection Table

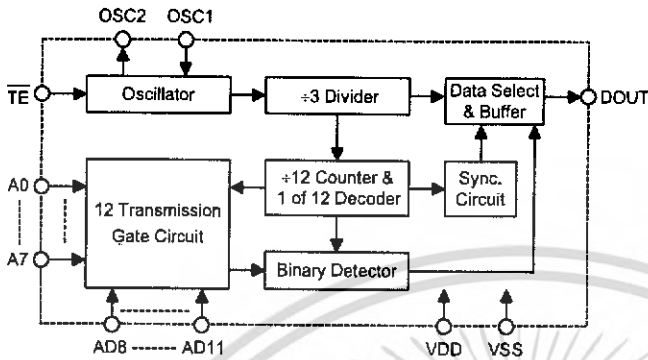
Function Part No.	Address No.	Address/ Data No.	Data No.	Oscillator	Trigger	Package	Carrier Output	Negative Polarity
HT12A	8	0	4	455kHz resonator	D8~D11	18 DIP 20 SOP	38kHz	No
HT12E	8	4	0	RC oscillator	\overline{TE}	18 DIP 20 SOP	No	No

Note: Address/Data represents pins that can be address or data according to the decoder requirement.

Block Diagram

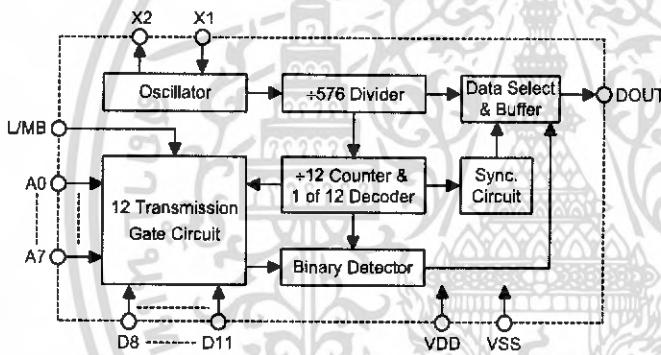
\overline{TE} trigger

HT12E

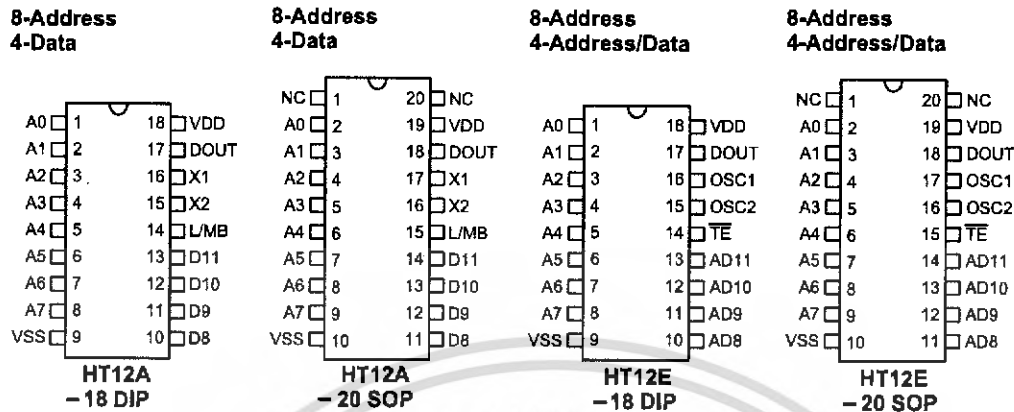


DATA trigger

HT12A



Note: The address data pins are available in various combinations (refer to the address/data table).

Pin Assignment

Pin Description

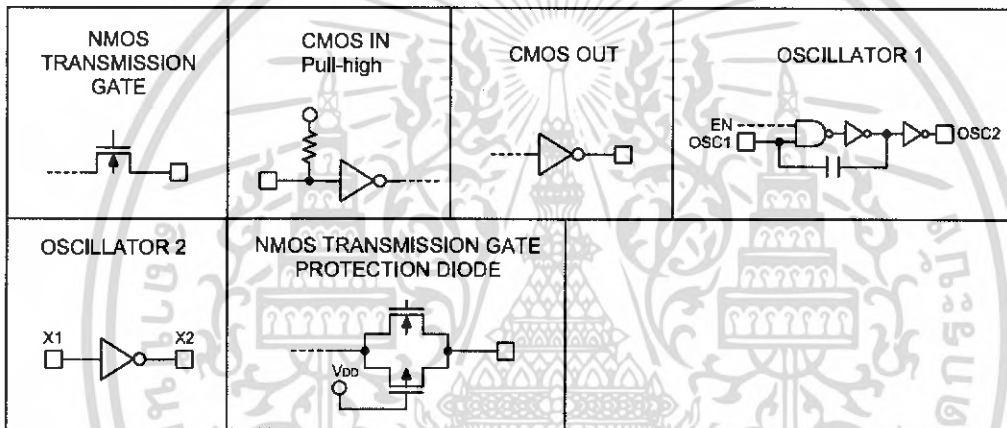
Pin Name	I/O	Internal Connection	Description
A0~A7	I	CMOS IN Pull-high (HT12A) NMOS TRANSMISSION GATE PROTECTION DIODE (HT12E)	Input pins for address A0~A7 setting These pins can be externally set to VSS or left open
AD8~AD11	I	NMOS TRANSMISSION GATE PROTECTION DIODE (HT12E)	Input pins for address/data AD8~AD11 setting These pins can be externally set to VSS or left open
D8~D11	I	CMOS IN Pull-high	Input pins for data D8~D11 setting and transmission enable, active low These pins should be externally set to VSS or left open (see Note)
DOUT	O	CMOS OUT	Encoder data serial transmission output
L/MB	I	CMOS IN Pull-high	Latch/Momentary transmission format selection pin: Latch: Floating or VDD Momentary: VSS

Pin Name	I/O	Internal Connection	Description
\overline{TE}	I	CMOS IN Pull-high	Transmission enable, active low (see Note)
OSC1	I	OSCILLATOR 1	Oscillator input pin
OSC2	O	OSCILLATOR 1	Oscillator output pin
X1	I	OSCILLATOR 2	455kHz resonator oscillator input
X2	O	OSCILLATOR 2	455kHz resonator oscillator output
VSS	I	—	Negative power supply, grounds
VDD	I	—	Positive power supply

Note: D8~D11 are all data input and transmission enable pins of the HT12A.

\overline{TE} is a transmission enable pin of the HT12E.

Approximate internal connections



Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage (HT12A)	-0.3V to 5.5V	Supply Voltage (HT12E)	-0.3V to 13V
Input Voltage.....	$V_{SS}-0.3$ to $V_{DD}+0.3V$	Storage Temperature.....	-50°C to 125°C
Operating Temperature.....	-20°C to 75°C		

Note: These are stress ratings only. Stresses exceeding the range specified under "Absolute Maximum Ratings" may cause substantial damage to the device. Functional operation of this device at other conditions beyond those listed in the specification is not implied and prolonged exposure to extreme conditions may affect device reliability.

Electrical Characteristics
HT12A

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{DD}	Conditions				
V _{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	3	5	V
I _{STB}	Standby Current	3V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		5V		—	0.1	1	μA
I _{DD}	Operating Current	3V	No load f _{OSC} =455kHz	—	200	400	μA
		5V		—	400	800	μA
I _{DOUT}	Output Drive Current	5V	V _{OH} =0.9V _{DD} (Source)	-1	-1.6	—	mA
			V _{OL} =0.1V _{DD} (Sink)	2	3.2	—	mA
V _{IH}	"H" Input Voltage	—	—	0.8V _{DD}	—	V _{DD}	V
V _{IL}	"L" Input Voltage	—	—	0	—	0.2V _{DD}	V
R _{DATA}	D8~D11 Pull-high Resistance	5V	V _{DATA} =0V	—	150	300	kΩ

HT12E

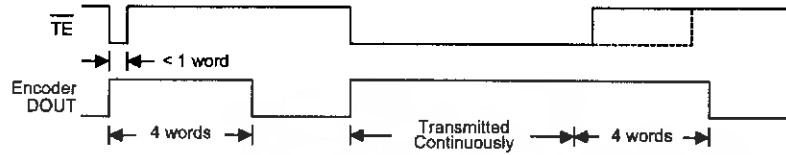
Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{DD}	Conditions				
V _{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	5	12	V
I _{STB}	Standby Current	3V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		12V		—	2	4	μA
I _{DD}	Operating Current	3V	No load f _{OSC} =3kHz	—	40	80	μA
		12V		—	150	300	μA
I _{DOUT}	Output Drive Current	5V	V _{OH} =0.9V _{DD} (Source)	-1	-1.6	—	mA
			V _{OL} =0.1V _{DD} (Sink)	1	1.6	—	mA
V _{IH}	"H" Input Voltage	—	—	0.8V _{DD}	—	V _{DD}	V
V _{IL}	"L" Input Voltage	—	—	0	—	0.2V _{DD}	V
f _{OSC}	Oscillator Frequency	5V	R _{OSC} =1.1MΩ	—	3	—	kHz
R _{TE}	TE Pull-high Resistance	5V	V _{TE} =0V	—	1.5	3	MΩ

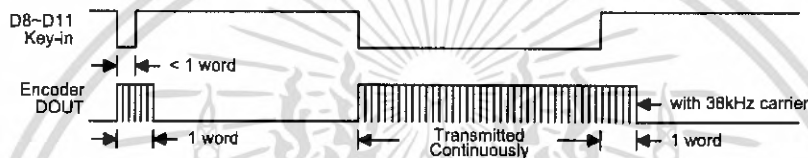
Functional Description

Operation

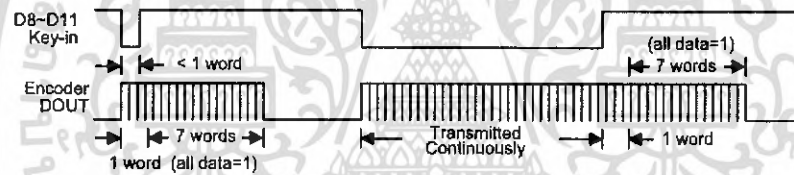
The 2¹² series of encoders begin a 4-word transmission cycle upon receipt of a transmission enable (\overline{TE} for the HT12E or D8~D11 for the HT12A, active low). This cycle will repeat itself as long as the transmission enable (\overline{TE} or D8~D11) is held low. Once the transmission enable returns high the encoder output completes its final cycle and then stops as shown below.



Transmission timing for the HT12E



Transmission timing for the HT12A (L/MB=Floating or VDD)

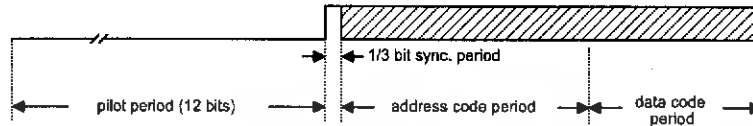


Transmission timing for the HT12A (L/MB=VSS)

Information word

If L/MB=1 the device is in the latch mode (for use with the latch type of data decoders). When the transmission enable is removed during a transmission, the DOUT pin outputs a complete word and then stops. On the other hand, if L/MB=0 the device is in the momentary mode (for use with the momentary type of data decoders). When the transmission enable is removed during a transmission, the DOUT outputs a complete word and then adds 7 words all with the "1" data code.

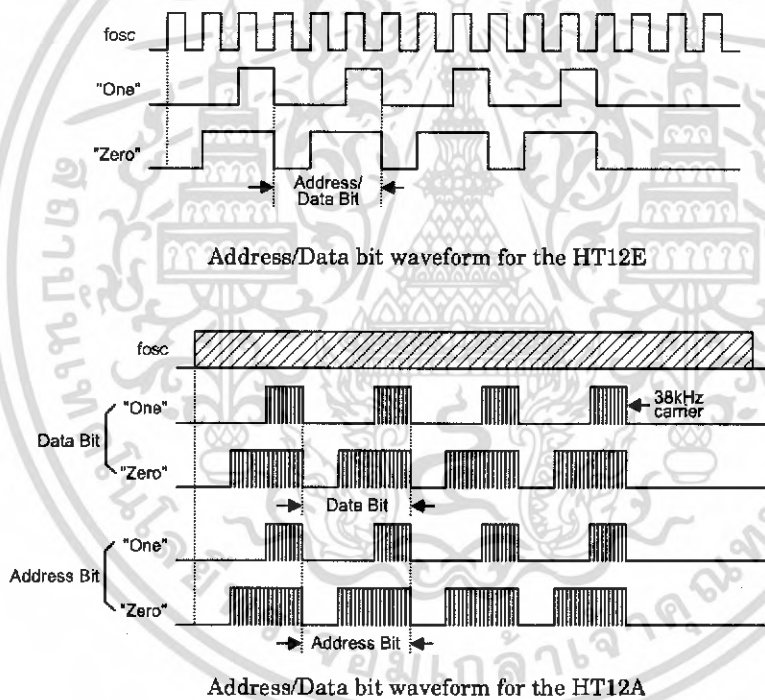
An information word consists of 4 periods as illustrated below.



Composition of information

Address/data waveform

Each programmable address/data pin can be externally set to one of the following two logic states as shown below.



The address/data bits of the HT12A are transmitted with a 38kHz carrier for infrared remote controller flexibility.

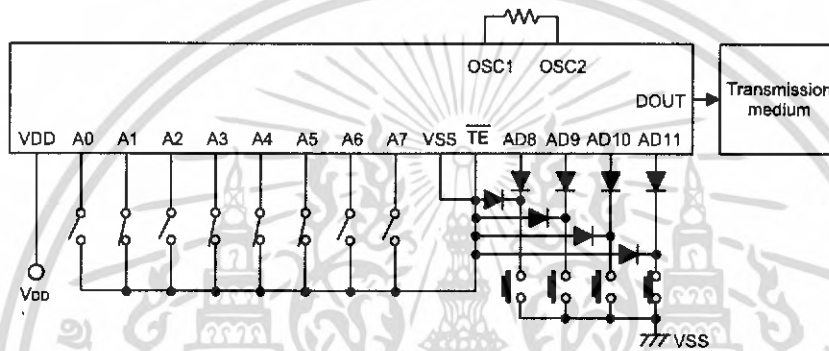
Address/data programming (preset)

The status of each address/data pin can be individually pre-set to logic "high" or "low". If a transmission-enable signal is applied, the encoder scans and transmits the status of the 12 bits of address/data serially in the order A0 to AD11 for the HT12E encoder and A0 to D11 for the HT12A encoder.

During information transmission these bits are transmitted with a preceding synchronization bit. If the trigger signal is not applied, the chip enters the standby mode and consumes a reduced current of less than 1µA for a supply voltage of 5V.

Usual applications preset the address pins with individual security codes using DIP switches or PCB wiring, while the data is selected by push buttons or electronic switches.

The following figure shows an application using the HT12E:



The transmitted information is as shown:

Pilot & Sync.	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	AD8	AD9	AD10	AD11
	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0

Address/Data sequence

The following provides the address/data sequence table for various models of the 2¹² series of encoders. The correct device should be selected according to the individual address and data requirements.

Part No.	Address/Data Bits											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HT12A	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	D8	D9	D10	D11
HT12E	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	AD8	AD9	AD10	AD11

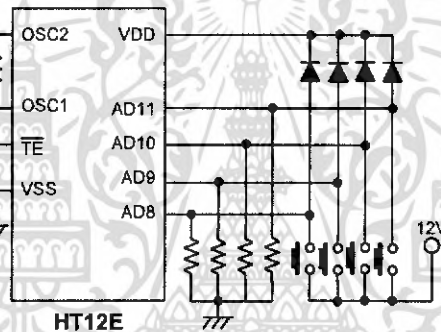
Transmission enable

For the HT12E encoders, transmission is enabled by applying a low signal to the \overline{TE} pin. For the HT12A encoders, transmission is enabled by applying a low signal to one of the data pins D8~D11.

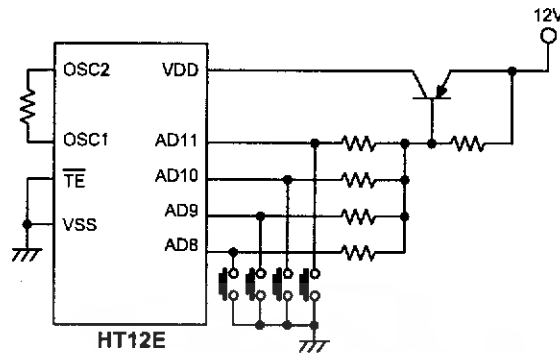
Two erroneous HT12E application circuits

The HT12E must follow closely the application circuits provided by Holtek (see the "Application circuits").

- Error: AD8~AD11 pins input voltage > V_{DD}+0.3V

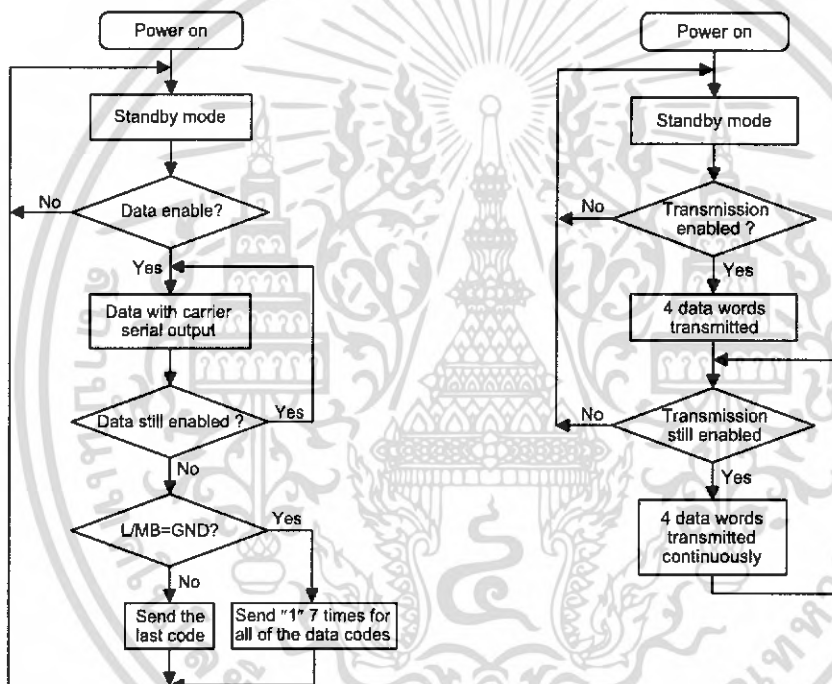


- Error: The IC's power source is activated by pins AD8~AD11

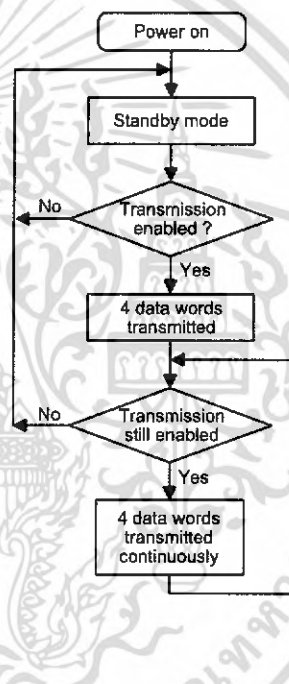


Flowchart

- HT12A



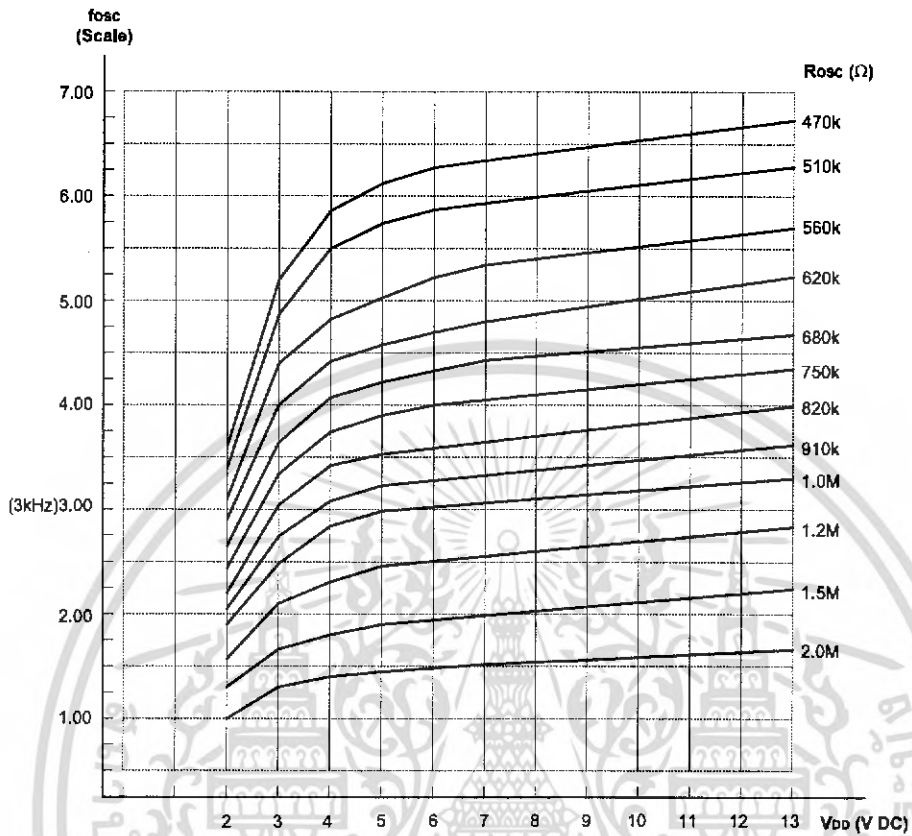
- HT12E



Note: D8~D11 are transmission enables of the HT12A.

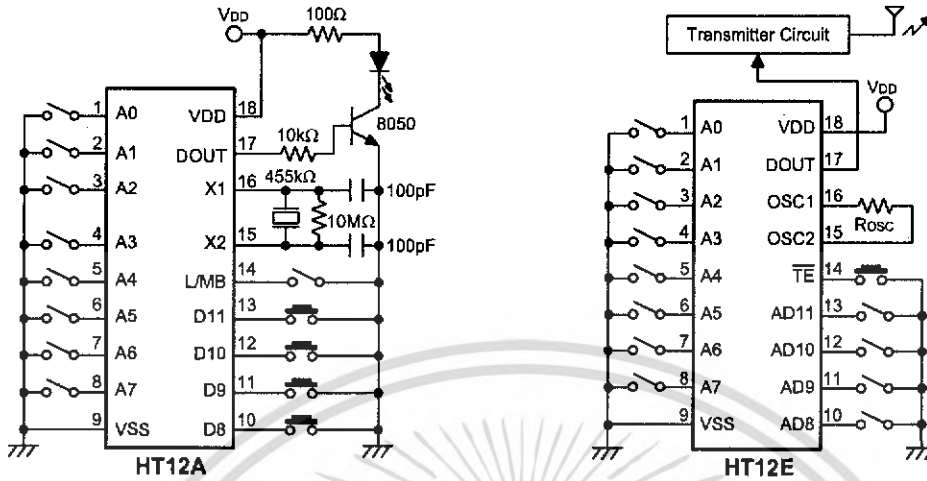
\overline{TE} is the transmission enable of the HT12E.

Oscillator frequency vs supply voltage

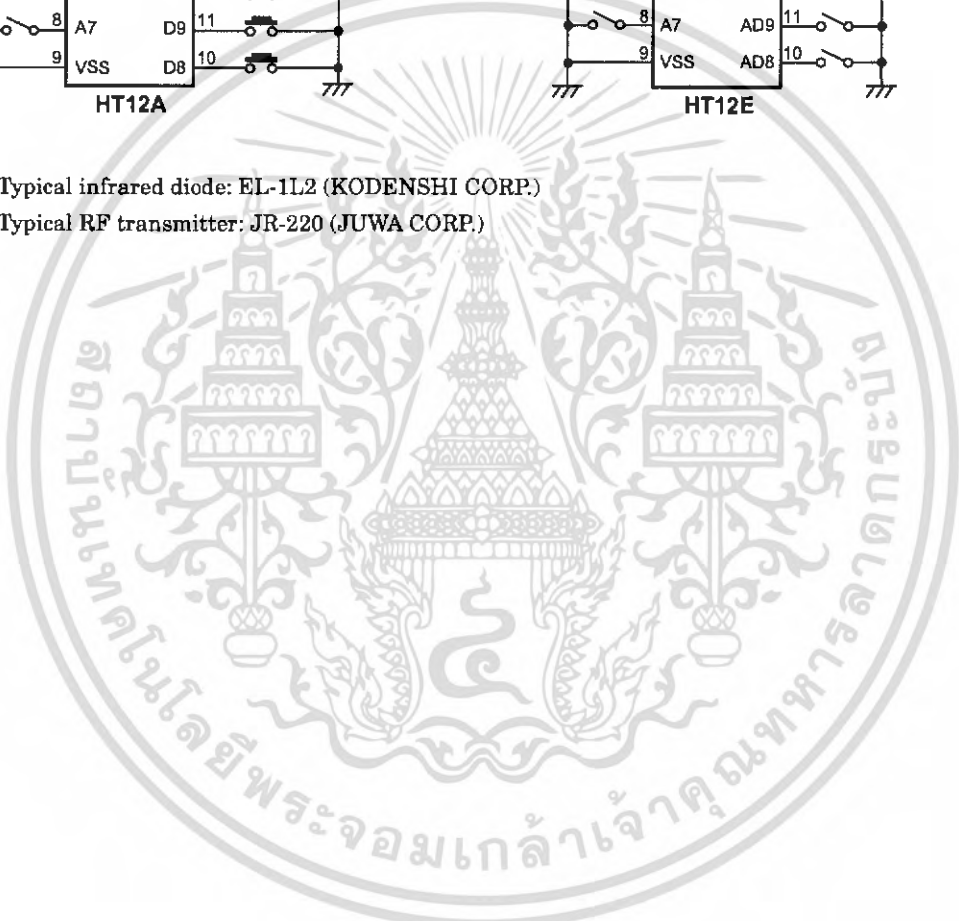


The recommended oscillator frequency is f_{OSCD} (decoder) $\cong 50 f_{OSCE}$ (HT12E encoder)
 $\cong \frac{1}{3} f_{OSCE}$ (HT12A encoder)

Application Circuits



Note: Typical infrared diode: EL-1L2 (KODENSHI CORP.)
 Typical RF transmitter: JR-220 (JUWA CORP.)



Features

- Operating voltage: 2.4V~12V
- Low power and high noise immunity CMOS technology
- Low standby current
- Capable of decoding 12 bits of information
- Binary address setting
- Received codes are checked 3 times
- Address/Data number combination
 - HT12D: 8 address bits and 4 data bits
 - HT12F: 12 address bits only
- Built-in oscillator needs only 5% resistor
- Valid transmission indicator
- Easy interface with an RF or an infrared transmission medium
- Minimal external components
- Pair with Holtek's 2¹² series of encoders
- 18-pin DIP, 20-pin SOP package

Applications

- Burglar alarm system
- Smoke and fire alarm system
- Garage door controllers
- Car door controllers
- Car alarm system
- Security system
- Cordless telephones
- Other remote control systems

General Description

The 2¹² decoders are a series of CMOS LSIs for remote control system applications. They are paired with Holtek's 2¹² series of encoders (refer to the encoder/decoder cross reference table). For proper operation, a pair of encoder/decoder with the same number of addresses and data format should be chosen.

The decoders receive serial addresses and data from a programmed 2¹² series of encoders that are transmitted by a carrier using an RF or an IR transmission medium. They compare the serial input data three times continu-

ously with their local addresses. If no error or unmatched codes are found, the input data codes are decoded and then transferred to the output pins. The VT pin also goes high to indicate a valid transmission.

The 2¹² series of decoders are capable of decoding informations that consist of N bits of address and 12-N bits of data. Of this series, the HT12D is arranged to provide 8 address bits and 4 data bits, and HT12F is used to decode 12 bits of address information.

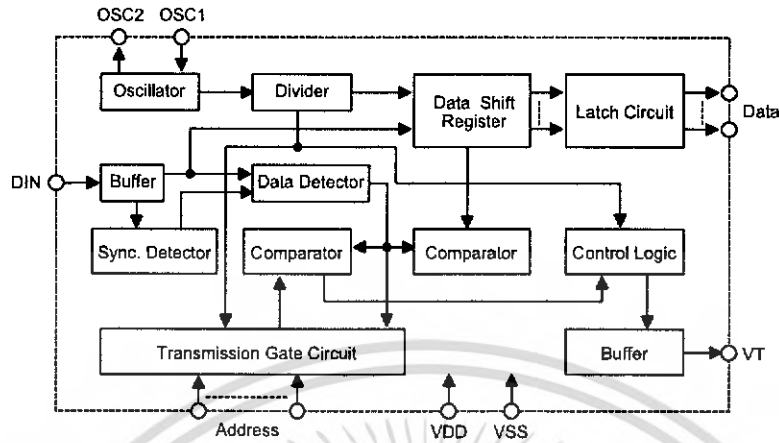
Selection Table

Part No.	Function	Address No.	Data		VT	Oscillator	Trigger	Package
			No.	Type				
HT12D		8	4	L	√	RC oscillator	DIN active "Hi"	18DIP, 20SOP
HT12F		12	0	—	√	RC oscillator	DIN active "Hi"	18DIP, 20SOP

Notes: Data type: L stands for latch type data output.

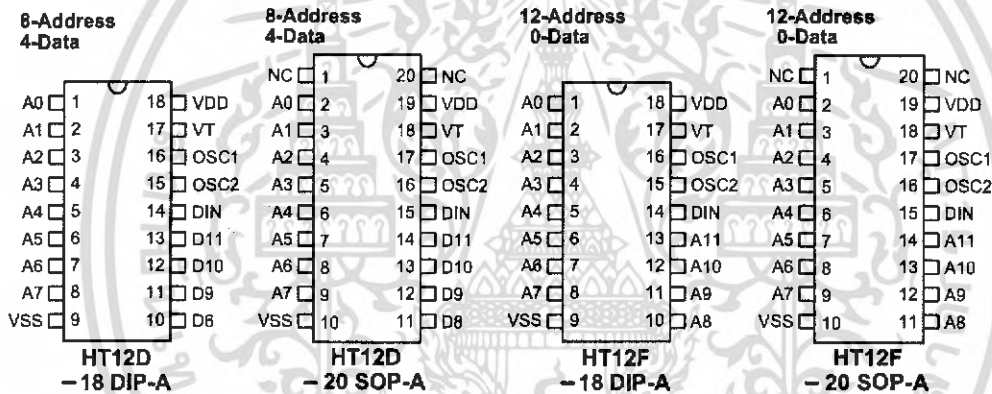
VT can be used as a momentary data output.

Block Diagram



Note: The address/data pins are available in various combinations (see the address/data table).

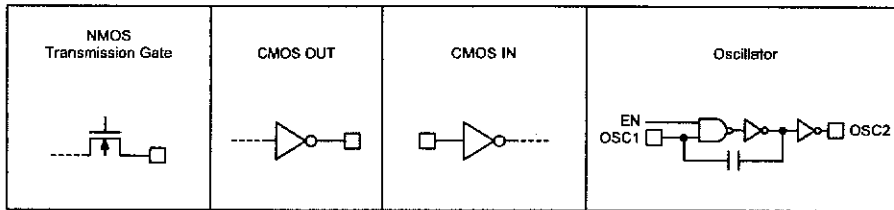
Pin Assignment



Pin Description

Pin Name	I/O	Internal Connection	Description
A0~A11 (HT12F)	I	NMOS Transmission Gate	Input pins for address A0~A11 setting These pins can be externally set to VSS or left open.
A0~A7 (HT12D)			Input pins for address A0~A7 setting These pins can be externally set to VSS or left open.
D8~D11 (HT12D)	O	CMOS OUT	Output data pins, power-on state is low.
DIN	I	CMOS IN	Serial data input pin
VT	O	CMOS OUT	Valid transmission, active high
OSC1	I	Oscillator	Oscillator input pin
OSC2	O	Oscillator	Oscillator output pin
VSS	—	—	Negative power supply, ground
VDD	—	—	Positive power supply

Approximate internal connection circuits



Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage-0.3V to 13V Storage Temperature-50°C to 125°C
 Input Voltage $V_{SS}-0.3$ to $V_{DD}+0.3V$ Operating Temperature-20°C to 75°C

Note: These are stress ratings only. Stresses exceeding the range specified under "Absolute Maximum Ratings" may cause substantial damage to the device. Functional operation of this device at other conditions beyond those listed in the specification is not implied and prolonged exposure to extreme conditions may affect device reliability.

Electrical Characteristics

Ta=25°C

Symbol	Parameter	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
		V _{DD}	Conditions				
V _{DD}	Operating Voltage	—	—	2.4	5	12	V
I _{STB}	Standby Current	5V	Oscillator stops	—	0.1	1	μA
		12V		—	2	4	μA
I _{OD}	Operating Current	5V	No load, f _{osc} =150kHz	—	200	400	μA
I _O	Data Output Source Current (D8~D11)	5V	V _{OH} =4.5V	-1	-1.6	—	mA
	Data Output Sink Current (D8~D11)	5V	V _{OL} =0.5V	1	1.6	—	mA
I _{VT}	VT Output Source Current	5V	V _{OH} =4.5V	-1	-1.6	—	mA
	VT Output Sink Current		V _{OL} =0.5V	1	1.6	—	mA
V _{IH}	"H" Input Voltage	5V	—	3.5	—	5	V
V _{IL}	"L" Input Voltage	5V	—	0	—	1	V
f _{OSC}	Oscillator Frequency	5V	R _{OSC} =51kΩ	—	150	—	kHz

Functional Description

Operation

The 2¹² series of decoders provides various combinations of addresses and data pins in different packages so as to pair with the 2¹² series of encoders.

The decoders receive data that are transmitted by an encoder and interpret the first N bits of code period as addresses and the last 12-N bits as data, where N is the address code number. A signal on the DIN pin activates the oscillator which in turn decodes the incoming address and data. The decoders will then check the received address three times continuously. If the received address codes all match the contents of the decoder's local address, the 12-N bits of data are decoded to activate the output pins and the VT pin is set high to indicate a valid transmission. This will last unless the address code is incorrect or no signal is received.

The output of the VT pin is high only when the transmission is valid. Otherwise it is always low.

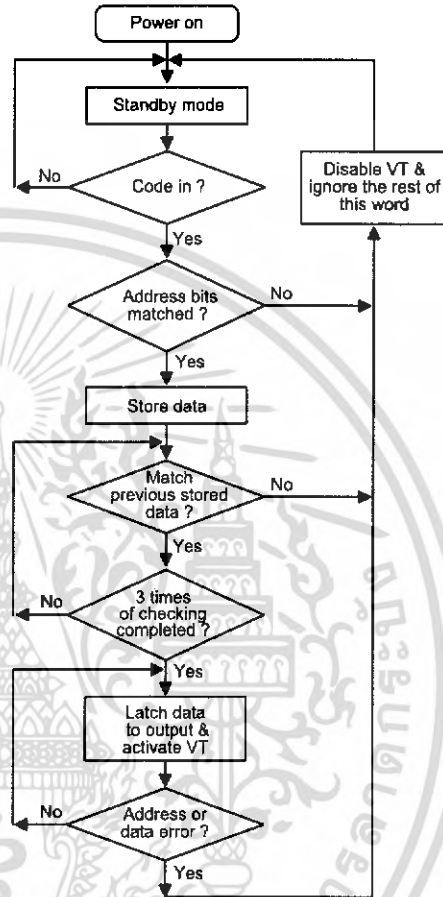
Output type

Of the 2¹² series of decoders, the HT12F has no data output pin but its VT pin can be used as a momentary data output. The HT12D, on the other hand, provides 4 latch type data pins whose data remain unchanged until new data are received.

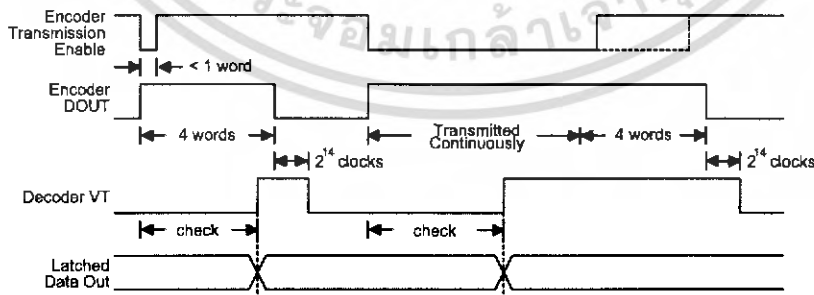
Part No.	Data Pins	Address Pins	Output Type	Operating Voltage
HT12D	4	8	Latch	2.4V~12V
HT12F	0	12	—	2.4V~12V

Flowchart

The oscillator is disabled in the standby state and activated when a logic "high" signal applies to the DIN pin. That is to say, the DIN should be kept low if there is no signal input.



Decoder timing



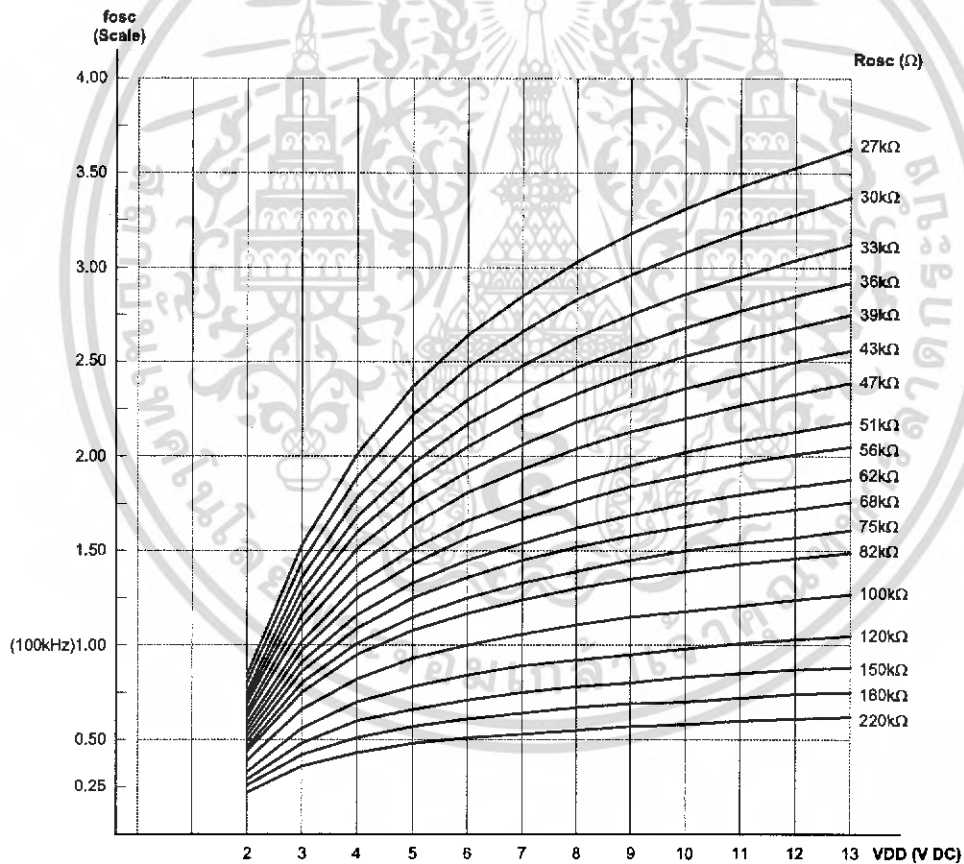
Encoder/Decoder cross reference table

Decoders Part No.	Data Pins	Address Pins	VT	Pair Encoder	Package			
					Encoder		Decoder	
					DIP	SOP	DIP	SOP
HT12D	4	8	√	HT12A HT12E	18	20	18	20
HT12F	0	12	√	HT12A HT12E	18	20	18	20

Address/Data sequence

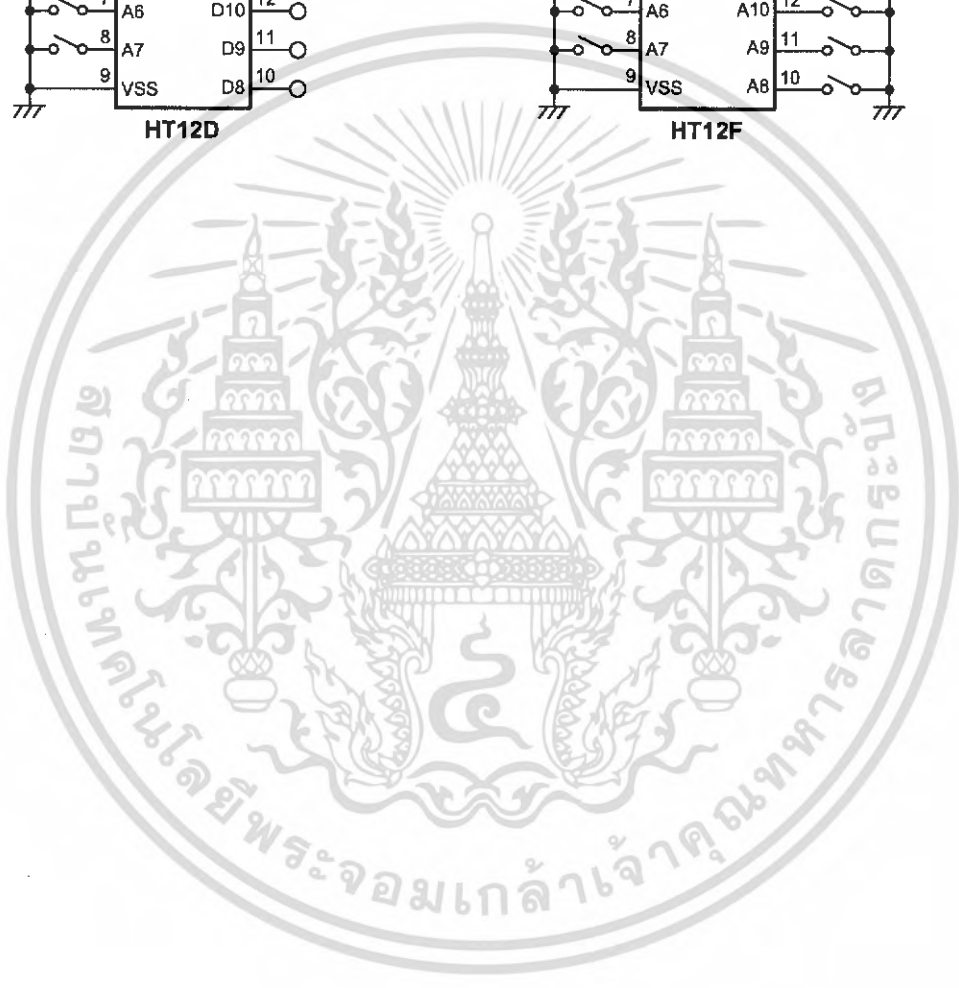
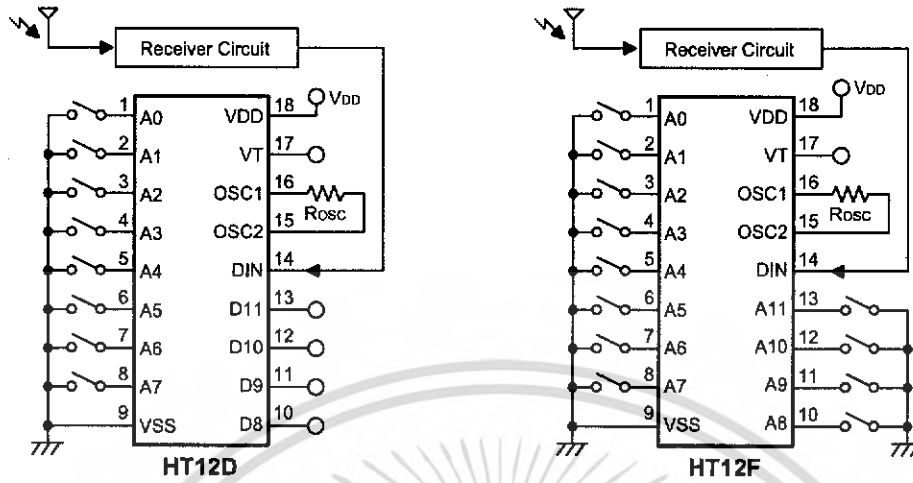
The following table provides address/data sequence for various models of the 2¹² series of decoders.

Part No.	Address/Data Bits											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HT12D	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	D8	D9	D10	D11
HT12F	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11

Oscillator frequency vs supply voltage


Note: The recommended oscillator frequency is $f_{OSCD} \text{ (decoder)} \cong 50 f_{OSCE} \text{ (HT12E encoder)}$
 $\cong \frac{1}{3} f_{OSCE} \text{ (HT12A encoder)}$.

Application Circuits



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

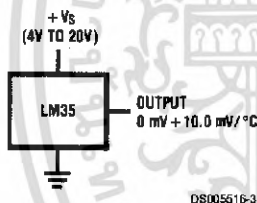
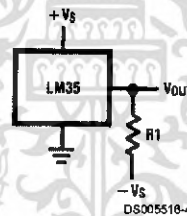


FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)

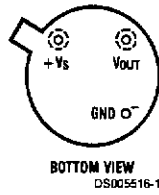


Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

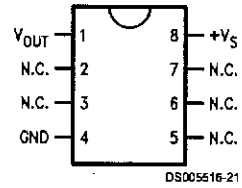
**TO-46
Metal Can Package***



*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

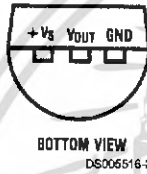
**SO-8
Small Outline Molded Package**



N.C. = No Connection

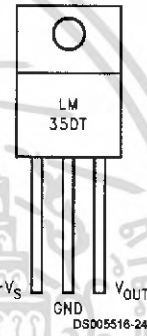
**Top View
Order Number LM35DM**
See NS Package Number M08A

**TO-92
Plastic Package**



Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

**TO-220
Plastic Package***



*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	$+10.0$	$+9.9,$ $+10.1$		$+10.0$	$+9.9,$ $+10.1$		mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		$+0.39$		$+0.5$	$+0.39$		$+0.5$	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 1. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is $90^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of Figure 1.

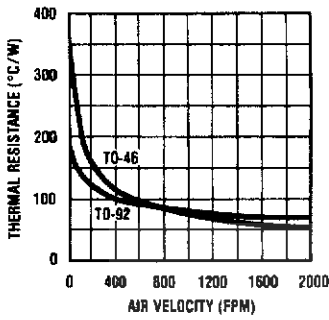
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

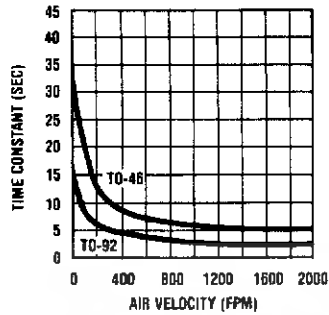
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance Junction to Air



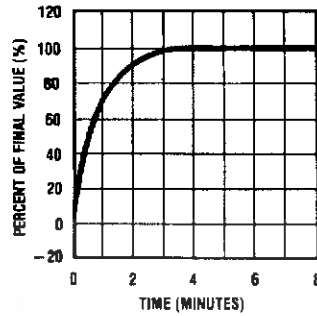
DS005516-25

Thermal Time Constant



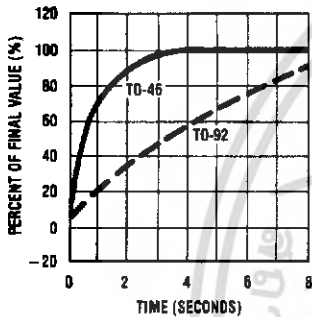
DS005516-26

Thermal Response in Still Air



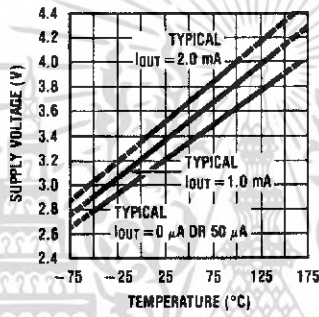
DS005516-27

Thermal Response in Stirred Oil Bath



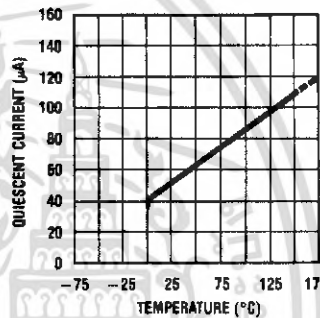
DS005516-28

Minimum Supply Voltage vs. Temperature



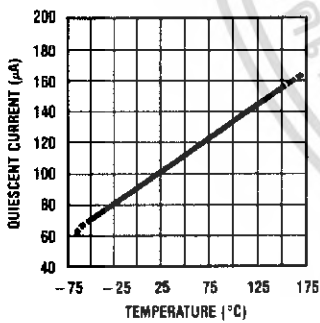
DS005516-29

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)



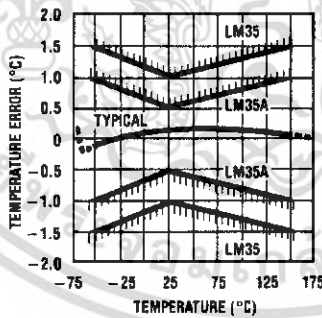
DS005516-30

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)



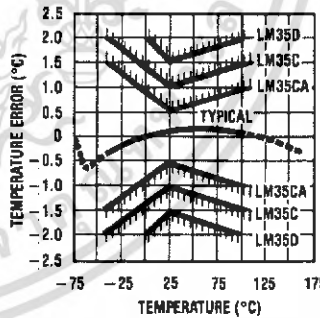
DS005516-31

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



DS005516-32

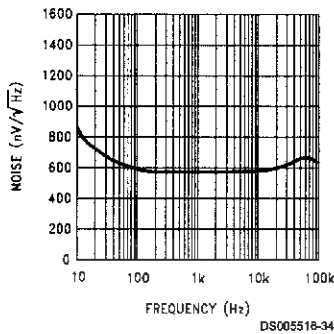
Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



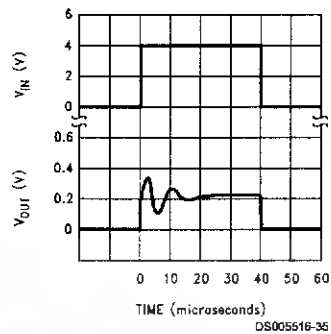
DS005516-33

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8**, small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications

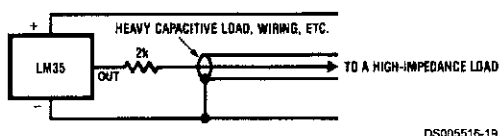


FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load

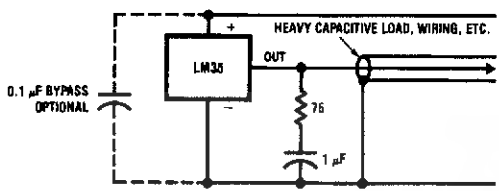


FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CAPACITIVE LOADS

Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pf without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc, as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.

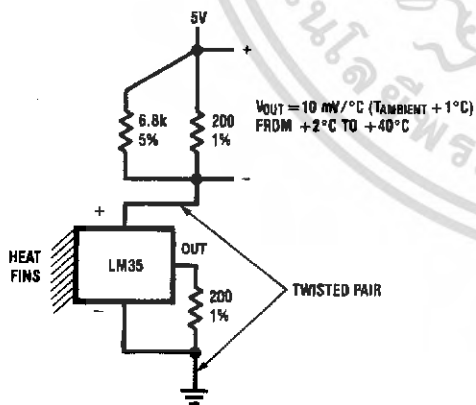


FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)

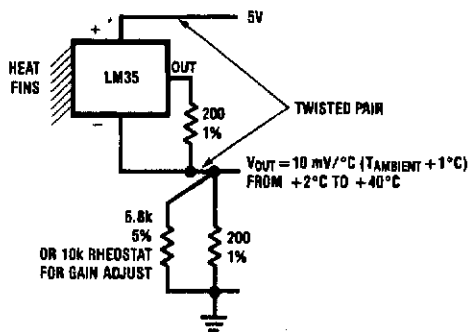


FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

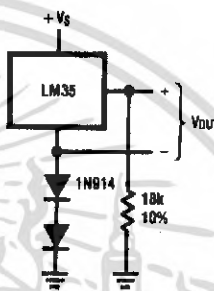


FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C

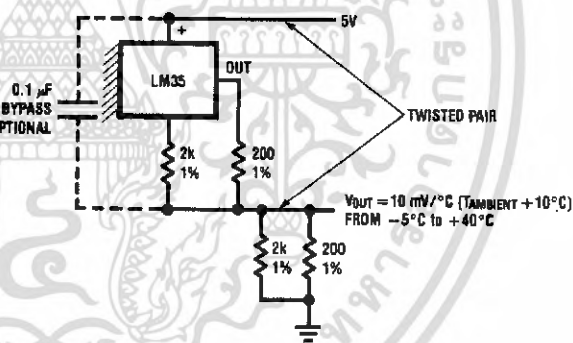


FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)

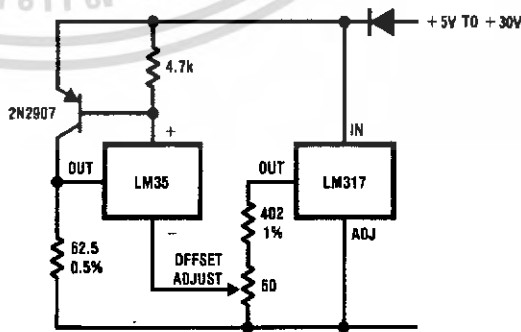


FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM34/LM35 Precision Monolithic Temperature Sensors

Introduction

Most commonly-used electrical temperature sensors are difficult to apply. For example, thermocouples have low output levels and require cold junction compensation. Thermistors are nonlinear. In addition, the outputs of these sensors are not linearly proportional to any temperature scale. Early monolithic sensors, such as the LM3911, LM134 and LM135, overcame many of these difficulties, but their outputs are related to the Kelvin temperature scale rather than the more popular Celsius and Fahrenheit scales. Fortunately, in 1983 two I.C.'s, the LM34 Precision Fahrenheit Temperature Sensor and the LM35 Precision Celsius Temperature Sensor, were introduced. This application note will discuss the LM34, but with the proper scaling factors can easily be adapted to the LM35.

The LM34 has an output of 10 mV/°F with a typical nonlinearity of only $\pm 0.35^\circ\text{F}$ over a -50 to $+300^\circ\text{F}$ temperature range, and is accurate to within $\pm 0.4^\circ\text{F}$ typically at room temperature (77°F). The LM34's low output impedance and linear output characteristic make interfacing with readout or control circuitry easy. An inherent strength of the LM34 over other currently available temperature sensors is that it is not as susceptible to large errors in its output from low level leakage currents. For instance, many monolithic temperature sensors have an output of only $1 \mu\text{A}/^\circ\text{K}$. This leads to a 1°K error for only $1 \mu\text{A}$ of leakage current. On the other hand, the LM34 may be operated as a current mode device providing $20 \mu\text{A}/^\circ\text{F}$ of output current. The same $1 \mu\text{A}$ of leakage current will cause an error in the LM34's output of only 0.05°F (or 0.03°K after scaling).

Low cost and high accuracy are maintained by performing trimming and calibration procedures at the wafer level. The device may be operated with either single or dual supplies. With less than $70 \mu\text{A}$ of current drain, the LM34 has very little self-heating (less than 0.2°F in still air), and comes in a TO-46 metal can package, a SO-8 small outline package and a TO-92 plastic package.

Forerunners to the LM34

The making of a temperature sensor depends upon exploiting a property of some material which is a changing function of temperature. Preferably this function will be a linear function for the temperature range of interest. The base-emitter voltage (V_{BE}) of a silicon NPN transistor has such a temperature dependence over small ranges of temperature.

Unfortunately, the value of V_{BE} varies over a production range and thus the room temperature calibration error is not specified nor guaranteeable in production. Additionally, the temperature coefficient of about $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ also has a tolerance and spread in production. Furthermore, while the tempo may appear linear over a narrow temperature, there is a definite nonlinearity as large as 3°C or 4°C over a full -55°C to $+150^\circ\text{C}$ temperature range.

National Semiconductor
Application Note 460
October 1986



Another approach has been developed where the difference in the base-emitter voltage of two transistors operated at different current densities is used as a measure of temperature. It can be shown that when two transistors, Q1 and Q2, are operated at different emitter current densities, the difference in their base-emitter voltages, ΔV_{BE} , is

$$\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2} = \frac{kT}{q} \ln \frac{J_{E1}}{J_{E2}} \quad (1)$$

where k is Boltzman's constant, q is the charge on an electron, T is absolute temperature in degrees Kelvin and J_{E1} and J_{E2} are the emitter current densities of Q1 and Q2 respectively. A circuit realizing this function is shown in Figure 1.

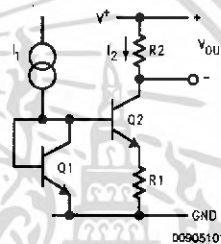


FIGURE 1.

Equation (1) implies that as long as the ratio of I_{E1} to I_{E2} is held constant, then ΔV_{BE} is a linear function of temperature (this is not exactly true over the whole temperature range, but a correction circuit for the nonlinearity of V_{BE1} and V_{BE2} will be discussed later). The linearity of this ΔV_{BE} with temperature is good enough that most of today's monolithic temperature sensors are based upon this principle.

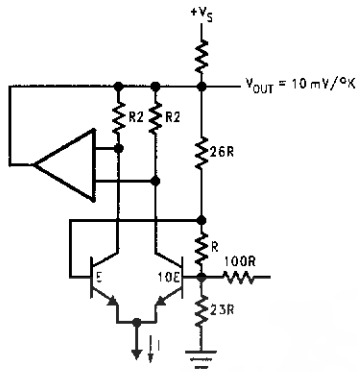
An early monolithic temperature sensor using the above principle is shown in Figure 2. This sensor outputs a voltage which is related to the absolute temperature scale by a factor of $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$ and is known as the LM135. The circuit has a ΔV_{BE} of approximately

$$(0.2 \text{ mV}/^\circ\text{K}) \times (T)$$

developed across resistor R . The amplifier acts as a servo to enforce this condition. The ΔV_{BE} appearing across resistor R is then multiplied by the resistor string consisting of R and the $26R$ and $23R$ resistors for an output voltage of $(10 \text{ mV}/^\circ\text{K}) \times (T)$. The resistor marked $100R$ is used for offset trimming. This circuit has been very popular, but such Kelvin temperature sensors have the disadvantage of a large constant output voltage of 2.73V which must be subtracted for use as a Celsius-scaled temperature sensor.

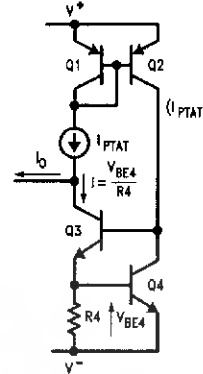
Forerunners to the LM34 (Continued)

then amplified by amplifier A2 to give an output proportional to whichever temperature scale is desired by a factor of 10 mV per degree.



00905102

FIGURE 2.



00905103

FIGURE 3.

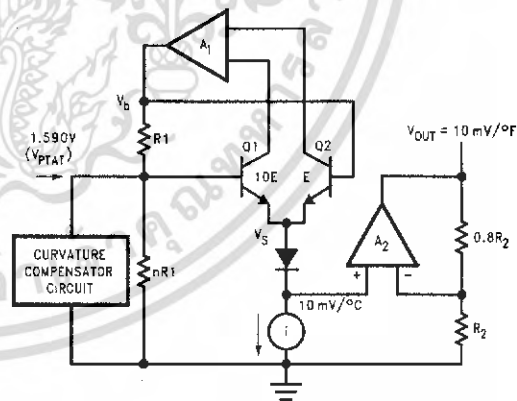
Various sensors have been developed with outputs which are proportional to the Celsius temperature scale, but are rather expensive and difficult to calibrate due to the large number of calibration steps which have to be performed. Gerard C.M. Meijer⁽⁴⁾ has developed a circuit which claims to be inherently calibrated if properly trimmed at any one temperature. The basic structure of Meijer's circuit is shown in Figure 3. The output current has a temperature coefficient of 1 μ A/°C. The circuit works as follows: a current which is proportional to absolute temperature, I_{PTAT} , is generated by a current source. Then a current which is proportional to the V_{BE} drop of transistor Q4 is subtracted from I_{PTAT} to get the output current, I_O . Transistor Q4 is biased by means of a PNP current mirror and transistor Q3, which is used as a feedback amplifier. In Meijer's paper it is claimed that the calibration procedure is straightforward and can be performed at any temperature by trimming resistor R4 to adjust the sensitivity, dI_O/dT , and then trimming a resistor in the PTAT current source to give the correct value of output current for the temperature at which the calibration is being performed.

Meijer's Celsius temperature sensor has problems due to its small output signal (i.e., the output may have errors caused by leakage currents). Another problem is the trim scheme requires the trimming of two resistors to a very high degree of accuracy. To overcome these problems the circuits of Figure 4 (an LM34 Fahrenheit temperature sensor) and Figure 5 (an LM35 Celsius temperature sensor) have been developed to have a simpler calibration procedure, an output voltage with a relatively large tempco, and a curvature compensation circuit to account for the non-linear characteristics of V_{BE} versus temperature. Basically, what happens is transistors Q1 and Q2 develop a ΔV_{BE} across resistor R1. This voltage is multiplied across resistor nR1. Thus at the non-inverting input of amplifier A2 is a voltage two diode drops below the voltage across resistor nR1. This voltage is

Circuit Operation

Since the two circuits are very similar, only the LM34 Fahrenheit temperature sensor will be discussed in greater detail. The circuit operates as follows:

Transistor Q1 has 10 times the emitter area of transistor Q2, and therefore, one-tenth the current density. From Figure 4, it is seen that the difference in the current densities of Q1 and Q2 will develop a voltage which is proportional to absolute temperature across resistor R1. At 77°F this voltage will be 60 mV. As in the Kelvin temperature sensor, an amplifier, A1, is used to insure that this is the case by servoing the base of transistor Q1 to a voltage level, V_{PTAT} , of $\Delta V_{BE} \times n$. The value of n will be trimmed during calibration of the device to give the correct output for any temperature.



00905104

FIGURE 4.

Circuit Operation (Continued)

"zener-zap". The analysis in the next section shows that when the circuit is calibrated at a given temperature, then the circuit will be accurate for the full temperature range.

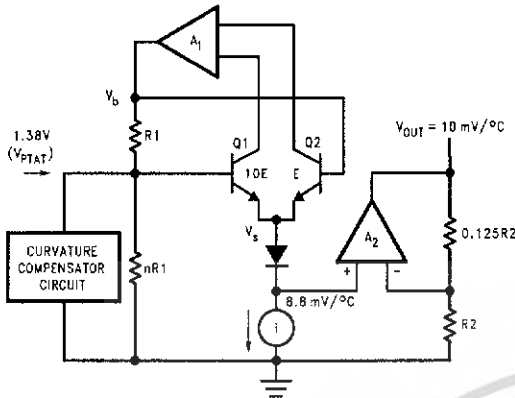


FIGURE 5.

For purposes of discussion, suppose that a value of V_{PTAT} equal to 1.59V will give a correct output of 770 mV at 77°F. Then n will be equal to $V_{PTAT}/\Delta V_{BE}$ or $1.59V/60\text{ mV} \approx 26.5$, and V_{PTAT} will have a temperature coefficient (tempco) of:

$$\frac{nk}{q} \ln \frac{I_1}{I_2} = 5.3\text{ mV}/^\circ\text{C}.$$

Subtracting two diode drops of 581 mV (at 77°F) with tempcos of $-2.35\text{ mV}/^\circ\text{C}$ each, will result in a voltage of 428 mV with a tempco of $10\text{ mV}/^\circ\text{C}$ at the non-inverting input of amplifier A2. As shown, amplifier A2 has a gain of 1.8 which provides the necessary conversion to 770 mV at 77°F (25°C). A further example would be if the temperature were 32°F (0°C), then the voltage at the input of A2 would be $428\text{ mV} - (10\text{ mV}/^\circ\text{C})(25^\circ\text{C}) = 0.178$, which would give $V_{OUT} = (0.178)(1.8) = 320\text{ mV}$ —the correct value for this temperature.

Easy Calibration Procedure

The circuit may be calibrated at any temperature by adjusting the value of the resistor ratio factor n . Note that the value of n is dependent on the actual value of the voltage drop from the two diodes since n is adjusted to give a correct value of voltage at the output and not to a theoretical value for PTAT. The calibration procedure is easily carried out by opening or shorting the links of a quasi-binary trim network like the one shown in Figure 6. The links may be opened to add resistance by blowing an aluminum fuse, or a resistor may be shorted out of the circuit by carrying out a

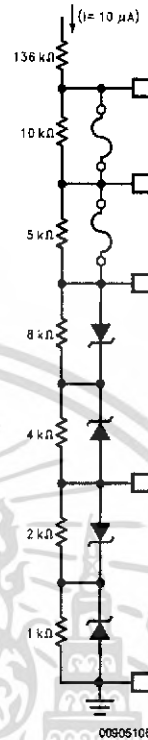


FIGURE 6.

How the Calibration Procedure Works

Widlar⁽⁵⁾ has shown that a good approximation for the base-emitter voltage of a transistor is:

$$V_{BE} = V_{Go} \left(1 - \frac{T}{T_0} \right) + V_{beo} \left(\frac{T}{T_0} \right) + \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{T_0}{T} \right) + \frac{kT}{q} \ln \frac{I_C}{I_{C0}} \tag{2}$$

where T is the temperature in Kelvin, T_0 is a reference temperature, V_{Go} is the bandgap of silicon, typically 1.22V,

2.7V Dual Channel 12-Bit A/D Converter with SPI™ Serial Interface

Features

- 12-bit resolution
- ± 1 LSB max DNL
- ± 1 LSB max INL (MCP3202-B)
- ± 2 LSB max INL (MCP3202-C)
- Analog inputs programmable as single-ended or pseudo-differential pairs
- On-chip sample and hold
- SPI™ serial interface (modes 0,0 and 1,1)
- Single supply operation: 2.7V - 5.5V
- 100 ksp/s max. sampling rate at $V_{DD} = 5V$
- 50 ksp/s max. sampling rate at $V_{DD} = 2.7V$
- Low power CMOS technology
 - 500 nA typical standby current, 5 μA max.
 - 550 μA max. active current at 5V
- Industrial temp range: $-40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$
- 8-pin MSOP, PDIP, SOIC and TSSOP packages

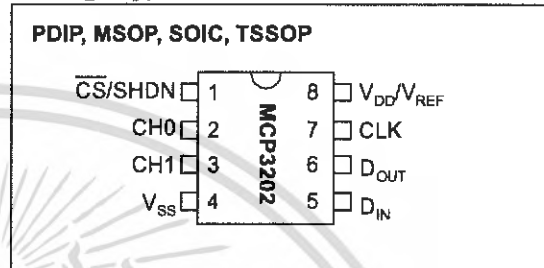
Applications

- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

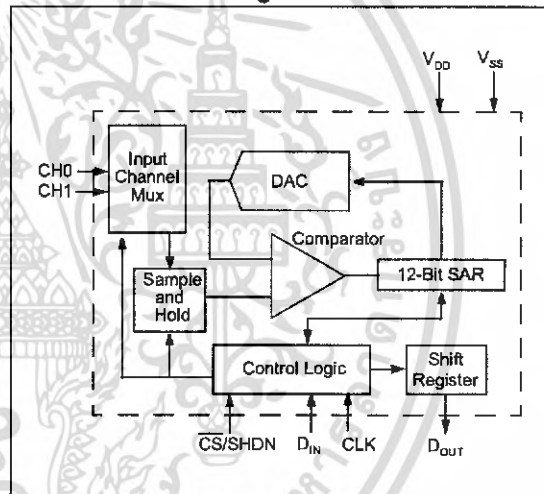
Description

The Microchip Technology Inc. MCP3202 is a successive approximation 12-bit Analog-to-Digital (A/D) Converter with on-board sample and hold circuitry. The MCP3202 is programmable to provide a single pseudo-differential input pair or dual single-ended inputs. Differential Nonlinearity (DNL) is specified at ± 1 LSB, and Integral Nonlinearity (INL) is offered in ± 1 LSB (MCP3202-B) and ± 2 LSB (MCP3202-C) versions. Communication with the device is done using a simple serial interface compatible with the SPI protocol. The device is capable of conversion rates of up to 100 ksp/s at 5V and 50 ksp/s at 2.7V. The MCP3202 device operates over a broad voltage range (2.7V - 5.5V). Low current design permits operation with typical standby and active currents of only 500 nA and 375 μA , respectively. The MCP3202 is offered in 8-pin MSOP, PDIP, TSSOP and 150 mil SOIC packages.

Package Types



Functional Block Diagram



MCP3202

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

1.1 Maximum Ratings*

V_{DD}7.0V

All inputs and outputs w.r.t. V_{SS} -0.6V to V_{DD} +0.6V

Storage temperature-65°C to +150°C

Ambient temp, with power applied-65°C to +125°C

ESD protection on all pins (HBM)..... > 4 kV

*Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PIN FUNCTION TABLE

Name	Function
V_{DD}/V_{REF}	+2.7V to 5.5V Power Supply and Reference Voltage Input
CH0	Channel 0 Analog Input
CH1	Channel 1 Analog Input
CLK	Serial Clock
D_{IN}	Serial Data In
D_{OUT}	Serial Data Out
CS/SHDN	Chip Select/Shutdown Input

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All parameters apply at $V_{DD} = 5.5V$, $V_{SS} = 0V$, $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$, $f_{SAMPLE} = 100$ ksp/s and $f_{CLK} = 18 * f_{SAMPLE}$ unless otherwise noted.

Parameter	Sym	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Conversion Rate:						
Conversion Time	t_{CONV}	—	—	12	clock cycles	
Analog Input Sample Time	t_{SAMPLE}	—	1.5	—	clock cycles	
Throughput Rate	f_{SAMPLE}	—	—	100	ksp/s	$V_{DD} = V_{REF} = 5V$ $V_{DD} = V_{REF} = 2.7V$
		—	—	50	ksp/s	
DC Accuracy:						
Resolution		—	12	—	bits	
Integral Nonlinearity	INL	—	± 0.75	± 1	LSB	MCP3202-B MCP3202-C
		—	± 1	± 2	LSB	
Differential Nonlinearity	DNL	—	± 0.5	± 1	LSB	No missing codes over temperature
Offset Error		—	± 1.25	± 3	LSB	
Gain Error		—	± 1.25	± 5	LSB	
Dynamic Performance:						
Total Harmonic Distortion	THD	—	-82	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
Signal to Noise and Distortion (SINAD)	SINAD	—	72	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
Spurious Free Dynamic Range	SFDR	—	86	—	dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V @ 1$ kHz
Analog Inputs:						
Input Voltage Range for CH0 or CH1 in Single-Ended Mode		V_{SS}	—	V_{DD}	V	
Input Voltage Range for IN+ in Pseudo-Differential Mode	IN+	IN-	—	$V_{DD} + IN-$		See Sections 3.1 and 4.1
Input Voltage Range for IN- in Pseudo-Differential Mode	IN-	$V_{SS} - 100$	—	$V_{SS} + 100$	mV	See Sections 3.1 and 4.1
Leakage Current		—	.001	± 1	μA	
Switch Resistance	R_{SS}	—	1 k	—	Ω	See Figure 4-1

Note 1: This parameter is established by characterization and not 100% tested.

2: Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10 kHz can affect linearity performance, especially at elevated temperatures. See Section 6.2 for more information.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

All parameters apply at $V_{DD} = 5.5V$, $V_{SS} = 0V$, $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$, $f_{SAMPLE} = 100$ ksp/s and $f_{CLK} = 18 \cdot f_{SAMPLE}$ unless otherwise noted.

Parameter	Sym	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Sample Capacitor	C_{SAMPLE}	—	20	—	pF	See Figure 4-1
Digital Input/Output:						
Data Coding Format		Straight Binary				
High Level Input Voltage	V_{IH}	$0.7 V_{DD}$	—	—	V	
Low Level Input Voltage	V_{IL}	—	—	$0.3 V_{DD}$	V	
High Level Output Voltage	V_{OH}	4.1	—	—	V	$I_{OH} = -1$ mA, $V_{DD} = 4.5V$
Low Level Output Voltage	V_{OL}	—	—	0.4	V	$I_{OL} = 1$ mA, $V_{DD} = 4.5V$
Input Leakage Current	I_{LI}	-10	—	10	μA	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}
Output Leakage Current	I_{LO}	-10	—	10	μA	$V_{OUT} = V_{SS}$ or V_{DD}
Pin Capacitance (All Inputs/Outputs)	C_{IN}, C_{OUT}	—	—	10	pF	$V_{DD} = 5.0V$ (Note 1) $T_{AMB} = 25^{\circ}C$, $f = 1$ MHz
Timing Parameters:						
Clock Frequency	f_{CLK}	—	—	1.8 0.9	MHz MHz	$V_{DD} = 5V$ (Note 2) $V_{DD} = 2.7V$ (Note 2)
Clock High Time	t_{HI}	250	—	—	ns	
Clock Low Time	t_{LO}	250	—	—	ns	
CS Fall To First Rising CLK Edge	t_{SUCS}	100	—	—	ns	
Data Input Setup Time	t_{SU}	—	—	50	ns	
Data Input Hold Time	t_{HD}	—	—	50	ns	
CLK Fall To Output Data Valid	t_{DO}	—	—	200	ns	See Test Circuits, Figure 1-2
CLK Fall To Output Enable	t_{EN}	—	—	200	ns	See Test Circuits, Figure 1-2
CS Rise To Output Disable	t_{DIS}	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 Note 1
CS Disable Time	t_{CSH}	500	—	—	ns	
D_{OUT} Rise Time	t_R	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 Note 1
D_{OUT} Fall Time	t_F	—	—	100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 Note 1
Power Requirements:						
Operating Voltage	V_{DD}	2.7	—	5.5	V	
Operating Current	I_{DD}	—	375	550	μA	$V_{DD} = 5.0V$, D_{OUT} unloaded
Standby Current	$I_{DD(S)}$	—	0.5	5	μA	$CS = V_{DD} = 5.0V$
Temperature Ranges:						
Specified Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}C$	
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+85	$^{\circ}C$	
Storage Temperature Range	T_A	-65	—	+150	$^{\circ}C$	
Thermal Package Resistance:						
Thermal Resistance, 8L-PDIP	θ_{JA}	—	85	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 8L-SOIC	θ_{JA}	—	163	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 8L-MSOP	θ_{JA}	—	206	—	$^{\circ}C/W$	
Thermal Resistance, 8L-TSSOP	θ_{JA}	—	—	—	$^{\circ}C/W$	

Note 1: This parameter is established by characterization and not 100% tested.

2: Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10 kHz can affect linearity performance, especially at elevated temperatures. See Section 6.2 for more information.

MCP3202

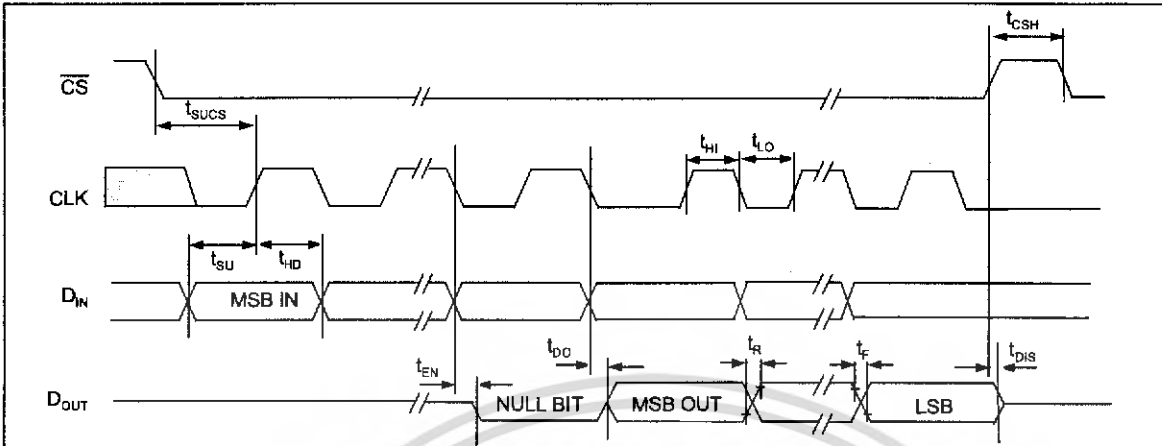


FIGURE 1-1: Serial Timing.

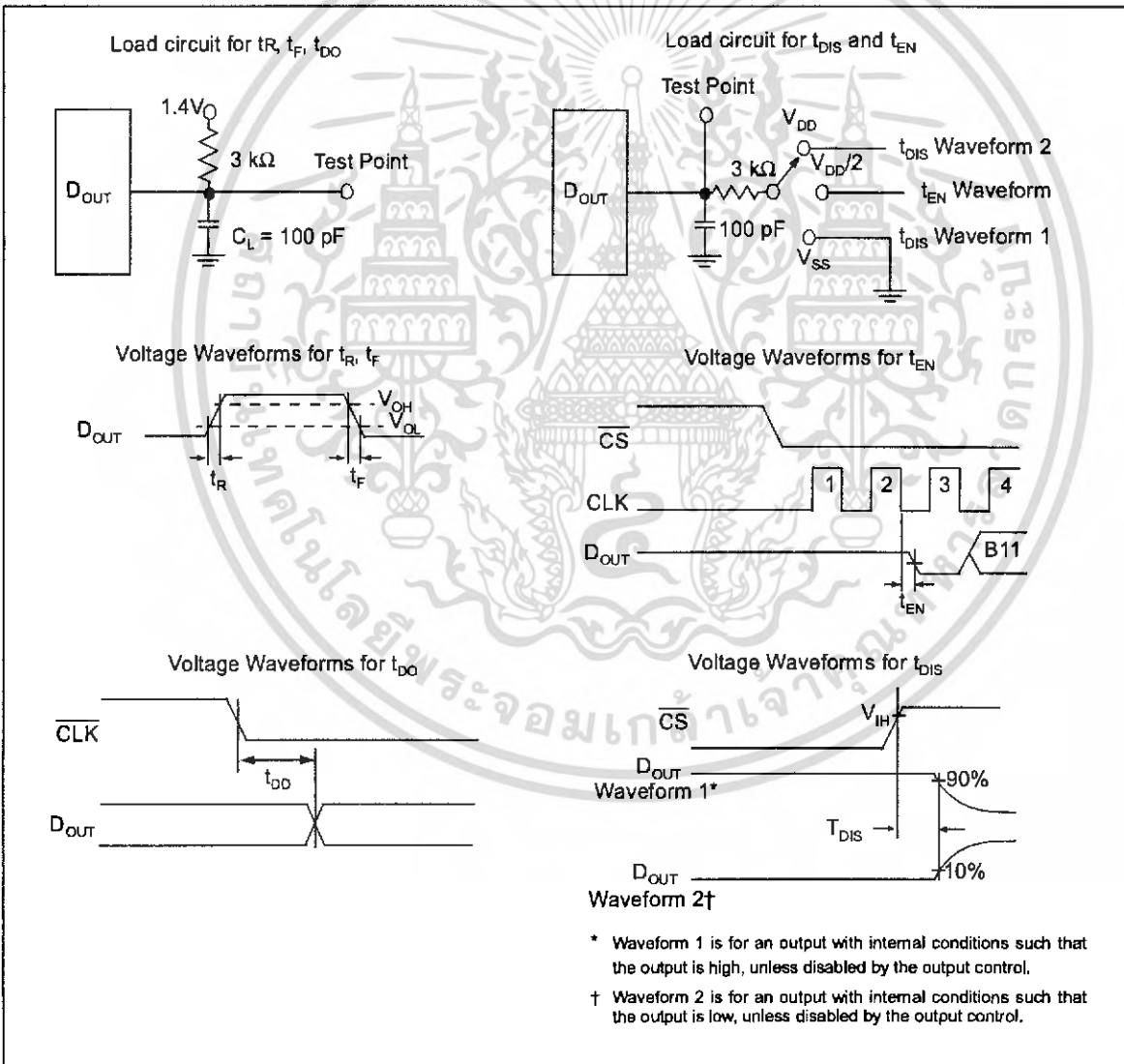


FIGURE 1-2: Test Circuits.

3.0 PIN DESCRIPTIONS

3.1 CH0/CH1

Analog inputs for channels 0 and 1 respectively. These channels can be programmed to be used as two independent channels in single ended-mode or as a single pseudo-differential input where one channel is IN+ and one channel is IN-. See Section 5.0 for information on programming the channel configuration.

3.2 $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$ (CS/SHDN)

The $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$ pin is used to initiate communication with the device when pulled low and will end a conversion and put the device in low power standby when pulled high. The $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$ pin must be pulled high between conversions.

3.3 Serial Clock (CLK)

The SPI clock pin is used to initiate a conversion and to clock out each bit of the conversion as it takes place. See Section 6.2 for constraints on clock speed.

3.4 Serial Data Input (DIN)

The SPI port serial data input pin is used to clock in input channel configuration data.

3.5 Serial Data Output (DOUT)

The SPI serial data output pin is used to shift out the results of the A/D conversion. Data will always change on the falling edge of each clock as the conversion takes place.

4.0 DEVICE OPERATION

The MCP3202 A/D Converter employs a conventional SAR architecture. With this architecture, a sample is acquired on an internal sample/hold capacitor for 1.5 clock cycles starting on the second rising edge of the serial clock after the start bit has been received. Following this sample time, the input switch of the converter opens and the device uses the collected charge on the internal sample and hold capacitor to produce a serial 12-bit digital output code. Conversion rates of 100 ksp/s are possible on the MCP3202. See Section 6.2 for information on minimum clock rates. Communication with the device is done using a 3-wire SPI-compatible interface.

4.1 Analog Inputs

The MCP3202 device offers the choice of using the analog input channels configured as two single-ended inputs or a single pseudo-differential input. Configuration is done as part of the serial command before each conversion begins. When used in the pseudo-differential mode, CH0 and CH1 are programmed as the IN+ and IN- inputs as part of the command string transmitted to the device. The IN+ input can range from IN- to V_{REF} ($V_{\text{DD}} + \text{IN-}$). The IN- input is limited to ± 100 mV from the V_{SS} rail. The IN- input can be used to cancel small signal common-mode noise which is present on both the IN+ and IN- inputs.

For the A/D Converter to meet specification, the charge holding capacitor (C_{SAMPLE}) must be given enough time to acquire a 12-bit accurate voltage level during the 1.5 clock cycle sampling period. The analog input model is shown in Figure 4-1.

In this diagram, it is shown that the source impedance (R_{S}) adds to the internal sampling switch (R_{SS}) impedance, directly affecting the time that is required to charge the capacitor, C_{SAMPLE} . Consequently, larger source impedances increase the offset, gain, and integral linearity errors of the conversion.

Ideally, the impedance of the signal source should be near zero. This is achievable with an operational amplifier such as the MCP601 which has a closed loop output impedance of tens of ohms. The adverse affects of higher source impedances are shown in Figure 4-2.

When operating in the pseudo-differential mode, if the voltage level of IN+ is equal to or less than IN-, the resultant code will be 000h. If the voltage at IN+ is equal to or greater than $\{[V_{\text{DD}} + (\text{IN-})] - 1 \text{ LSB}\}$, then the output code will be FFFh. If the voltage level at IN- is more than 1 LSB below V_{SS} , then the voltage level at the IN+ input will have to go below V_{SS} to see the 000h output code. Conversely, if IN- is more than 1 LSB above V_{SS} , then the FFFh code will not be seen unless the IN+ input level goes above V_{DD} level.

4.2 Digital Output Code

The digital output code produced by an A/D Converter is a function of the input signal and the reference voltage. For the MCP3202, V_{DD} is used as the reference voltage. As the V_{DD} level is reduced, the LSB size is reduced accordingly. The theoretical digital output code produced by the A/D Converter is shown below.

$$\text{Digital Output Code} = \frac{4096 \cdot V_{\text{IN}}}{V_{\text{DD}}}$$

where:

V_{IN} = analog input voltage

V_{DD} = supply voltage

MCP3202

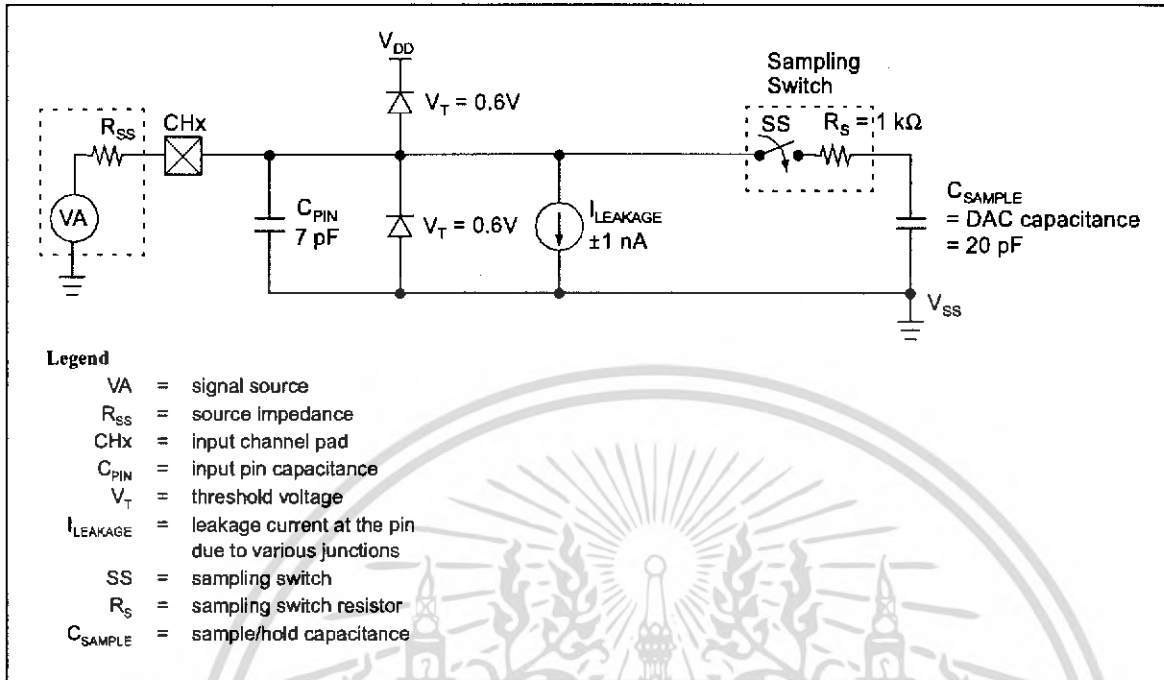


FIGURE 4-1: Analog Input Model.

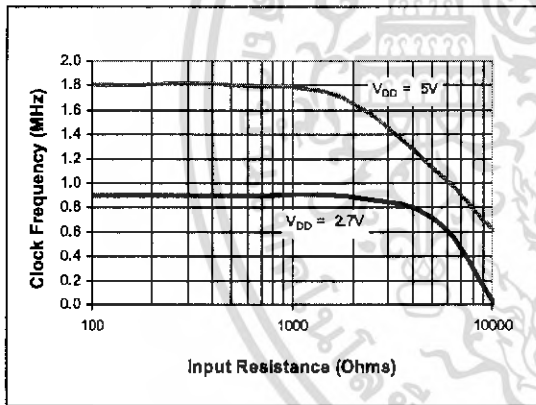


FIGURE 4-2: Maximum Clock Frequency vs. Input Resistance (R_S) to maintain less than a 0.1 LSB deviation in INL from nominal conditions.

5.0 SERIAL COMMUNICATIONS

5.1 Overview

Communication with the MCP3202 is done using a standard SPI-compatible serial interface. Initiating communication with the device is done by bringing the CS line low. See Figure 5-1. If the device was powered up with the CS pin low, it must be brought high and back low to initiate communication. The first clock received with CS low and DIN high will constitute a start bit. The SGL/DIFF bit and the ODD/SIGN bit follow the start bit and are used to select the input channel configuration. The SGL/DIFF is used to select single ended or pseudo-differential mode. The ODD/SIGN bit selects which channel is used in single ended mode, and is used to determine polarity in pseudo-differential mode. Following the ODD/SIGN bit, the MSBF bit is transmitted to and is used to enable the LSB first format for the device. If the MSBF bit is high, then the data will come from the device in MSB first format and any further clocks with CS low will cause the device to output zeros. If the MSBF bit is low, then the device will output the converted word LSB first after the word has been transmitted in the MSB first format. See Figure 5-2. Table 5-1 shows the configuration bits for the MCP3202. The device will begin to sample the analog input on the second rising edge of the clock, after the start bit has been received. The sample period will end on the falling edge of the third clock following the start bit.

On the falling edge of the clock for the MSBF bit, the device will output a low null bit. The next sequential 12 clocks will output the result of the conversion with MSB first as shown in Figure 5-1. Data is always output from the device on the falling edge of the clock. If all 12 data bits have been transmitted and the device continues to receive clocks while the CS is held low, (and MSBF = 1), the device will output the conversion result LSB first as shown in Figure 5-2. If more clocks are provided to the device while CS is still low (after the LSB first data has been transmitted), the device will clock out zeros indefinitely.

If necessary, it is possible to bring CS low and clock in leading zeros on the DIN line before the start bit. This is often done when dealing with microcontroller-based SPI ports that must send 8 bits at a time. Refer to Section 6.1 for more details on using the MCP3202 devices with hardware SPI ports.

	Config Bits		Channel Selection		GND
	Sgl/Diff	Odd/sign	0	1	
Single Ended Mode	1	0	+	-	-
	1	1	-	+	-
Pseudo-Differential Mode	0	0	IN+	IN-	
	0	1	IN-	IN+	

TABLE 5-1: Configuration Bits for the MCP3202.

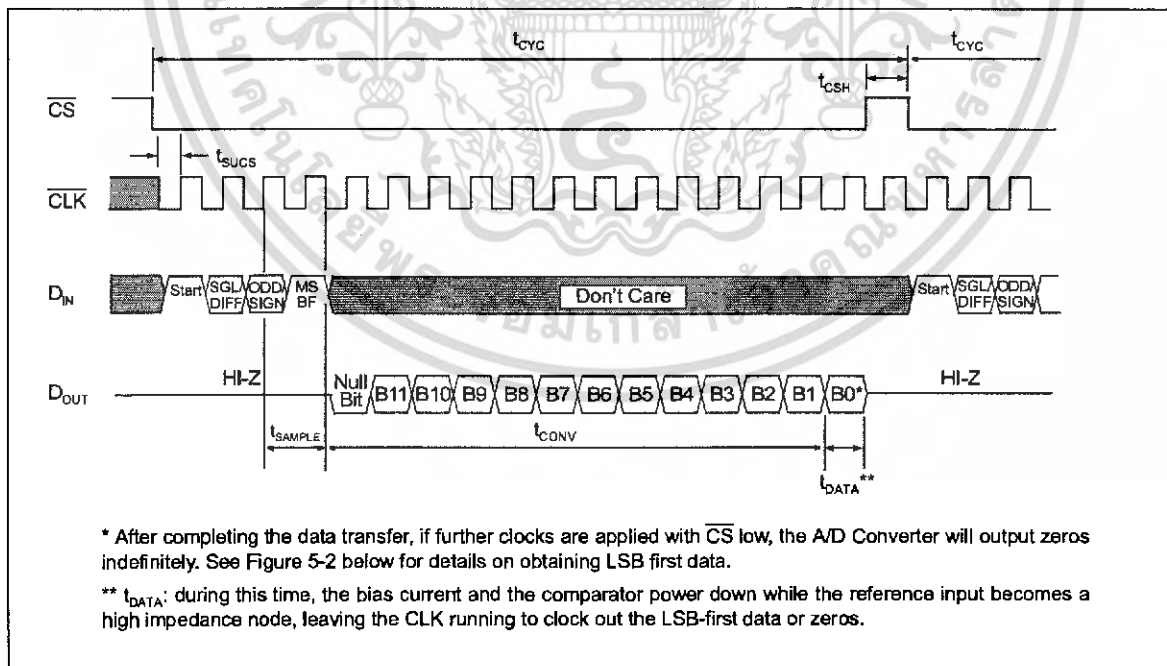


FIGURE 5-1: Communication with the MCP3202 using MSB first format only.

MCP3202

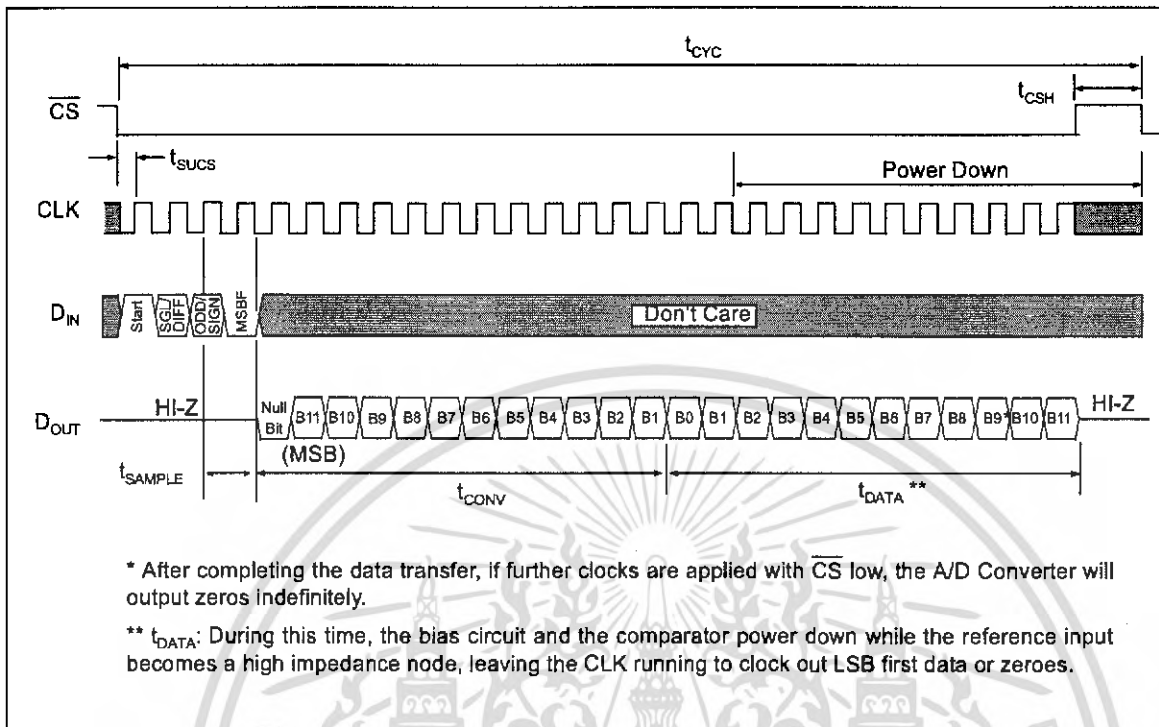


FIGURE 5-2: Communication with MCP3202 using LSB first format.

MCP3202

6.2 Maintaining Minimum Clock Speed

When the MCP3202 initiates the sample period, charge is stored on the sample capacitor. When the sample period is complete, the device converts one bit for each clock that is received. It is important for the user to note that a slow clock rate will allow charge to bleed off the sample cap while the conversion is taking place. At 85°C (worst case condition), the part will maintain proper charge on the sample capacitor for at least 1.2 ms after the sample period has ended. This means that the time between the end of the sample period and the time that all 12 data bits have been clocked out must not exceed 1.2 ms (effective clock frequency of 10 kHz). Failure to meet this criteria may induce linearity errors into the conversion outside the rated specifications. It should be noted that during the entire conversion cycle, the A/D Converter does not require a constant clock speed or duty cycle, as long as all timing specifications are met.

6.3 Buffering/Filtering the Analog Inputs

If the signal source for the A/D Converter is not a low impedance source, it will have to be buffered or inaccurate conversion results may occur. It is also recommended that a filter be used to eliminate any signals that may be aliased back into the conversion results. This is illustrated in Figure 6-3 below where an op amp is used to drive the analog input of the MCP3202. This amplifier provides a low impedance output for the converter input and a low pass filter, which eliminates unwanted high frequency noise.

Low pass (anti-aliasing) filters can be designed using Microchip's interactive FilterLab™ software. FilterLab will calculate capacitor and resistor values, as well as, determine the number of poles that are required for the application. For more information on filtering signals, see the application note AN699 "Anti-Aliasing Analog Filters for Data Acquisition Systems".

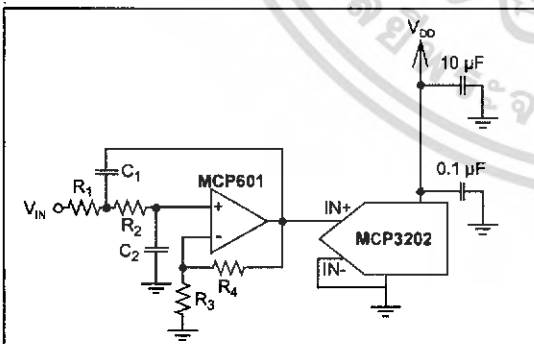


FIGURE 6-3: The MCP601 Operational Amplifier is used to implement a 2nd order anti-aliasing filter for the signal being converted by the MCP3202.

6.4 Layout Considerations

When laying out a printed circuit board for use with analog components, care should be taken to reduce noise wherever possible. A bypass capacitor should always be used with this device and should be placed as close as possible to the device pin. A bypass capacitor value of 0.1 µF is recommended.

Digital and analog traces should be separated as much as possible on the board and no traces should run underneath the device or the bypass capacitor. Extra precautions should be taken to keep traces with high frequency signals (such as clock lines) as far as possible from analog traces.

Use of an analog ground plane is recommended in order to keep the ground potential the same for all devices on the board. Providing V_{DD} connections to devices in a "star" configuration can also reduce noise by eliminating current return paths and associated errors. See Figure 6-4. For more information on layout tips when using A/D Converters, refer to AN688 "Layout Tips for 12-Bit A/D Converter Applications".

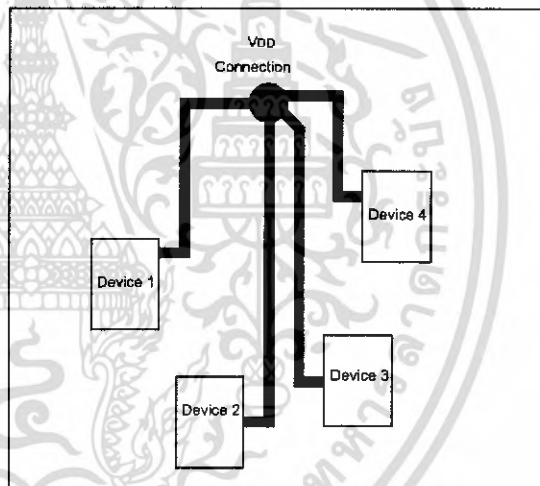


FIGURE 6-4: V_{DD} traces arranged in a 'Star' configuration in order to reduce errors caused by current return paths.